

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**

Leonardo Radünz Vieira

**A EXPOSIÇÃO A CAMPO ELETROMAGNÉTICO**  
**NÃO IONIZANTE NA ATIVIDADE DE POLICIAL**  
**RODOVIÁRIO FEDERAL**

Porto Alegre

2018

Leonardo Radünz Vieira

**A EXPOSIÇÃO A CAMPO ELETROMAGNÉTICO NÃO IONIZANTE NA ATIVIDADE DE POLICIAL  
RODOVIÁRIO FEDERAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Ergonomia e Segurança do Trabalho.

Orientador: Professor Orientador, Dr. Fernando  
Gonçalves Amaral

Porto Alegre

2018

Leonardo Radünz Vieira

**A EXPOSIÇÃO A CAMPO ELETROMAGNÉTICO NÃO IONIZANTE NA ATIVIDADE DE POLICIAL  
RODOVIÁRIO FEDERAL**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Orientador, Dr. Fernando Gonçalves  
Amaral**

Orientador PMPEP/UFRGS

---

**Prof. Ricardo Augusto Cassel**

Coordenador PMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Pantelis Varvakis Rados, (Faculdade de Odontologia / UFRGS)

Prof. Dr. Alvaro Almeida de Salles, (Faculdade de Engenharia Elétrica / UFRGS)

Prof. Dr. Paulo Antonio Barros Oliveira, Dr. (Faculdade de Medicina / UFRGS)

#### Dedicatória

Aos profissionais nas suas respectivas áreas de conhecimento que durante minha vida serviram como exemplo de retidão e sabedoria para me tornar uma pessoa melhor.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos vão aos professores que nortearam minha jornada nas diversas áreas de conhecimento desde a juventude até os dias atuais. Em especial o Prof. Orientador, Dr. Fernando Gonçalves Amaral pela coragem de participar de um projeto complicado e incomum para a área de engenharia, pelos ensinamentos não só na área de ergonomia e engenharia de produção, mas também pelos ensinamentos de vida. Também em especial ao Prof. Dr. Pantelis Varvakis Rados que sempre foi um exemplo de profissional e principalmente um grande exemplo de ser humano no mais amplo espectro da palavra e que tive a oportunidade de poder conviver durante minha infância. Também em especial ao Prof. Dr. Alvaro Almeida de Salles que em parceria com a Dra. Geila Radünz Vieira me abriu os olhos ao tema proposto neste trabalho e que também tive o privilégio de poder conviver e adquirir os conhecimentos necessários para me tornar mestre. Também em especial ao Prof. Dr. Paulo Antonio Barros pelos conhecimentos que tive oportunidade de adquirir na pós-graduação e especialização em Medicina do Trabalho. Muito em especial a Dra. Natália Daroit pelos ensinamentos e convivo no dia-a-dia do laboratório de patologia bucal da UFRGS.

Gostaria de agradecer também aos meus pais, que embora esta tenha sido uma jornada longa e em parte solitária, bem no início dela eles me deram o devido exemplo de retidão e caráter que me fez superar os obstáculos da vida e prosperar.

## RESUMO

As radiações não ionizantes vêm ganhando cada vez mais espaço em nosso cotidiano como meio utilizado para transmitir informações como áudio, vídeo, dados, etc. Com isto o trabalhador fica sujeito a períodos de exposição a este tipo de radiação durante o desempenho de suas atividades. Este estudo, num primeiro momento, introduz por meio de uma revisão bibliográfica as radiações não ionizantes, seus efeitos sobre o corpo humano em específico a audição e o DNA celular, sua forma de mensuração e a exposição ocupacional a este tipo de radiação. Posteriormente é realizada uma análise quantitativa e qualitativa através de questionário biopsicossocial e laboral, através da mensuração dos campos eletromagnéticos a que estão expostos os trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) no estado do Rio Grande do Sul e também por meio de exames clínicos e laboratoriais reconhecidos pela literatura científica vigente com o intuito de avaliar os danos biológicos causados pela exposição à radiação. Após a revisão da literatura científica referente ao tema fica evidente quão amplo é este assunto da pesquisa assim como também a dificuldade de reprodução dos resultados de estudos devido às peculiaridades das radiações não ionizantes nos organismos vivos, também fica claro que existem poucos estudos relacionados à exposição ocupacional a este tipo de risco. Quanto a análise do campo eletromagnético não ionizante no ambiente de trabalho dos policiais rodoviários federais foram identificados níveis acima do padronizado pelas normas internacionais de intensidade de campo bem como foram identificadas alterações nos exames audiométricos e nos núcleos celulares mas não foi possível estabelecer relação destas alterações com a exposição devido ao pequeno número de sujeitos analisados.

Palavras-chave: exposição ocupacional, radiação não ionizante, campo eletromagnético, dano biológico, perda auditiva, micronúcleo.

## ABSTRACT

Non-ionizing radiations have been gaining more and more space in our daily lives as a means used to transmit information such as audio, video, data, etc. With this the worker is subject to periods of exposure to this type of radiation during the performance of his activities. This study, in a first moment, introduces by means of a bibliographical revision the non-ionizing radiation, its effects on the human body in specific the hearing and the cellular DNA, its form of measurement and the occupational exposure to this type of radiation. Subsequently, a quantitative and qualitative analysis is performed through a biopsychosocial and labor questionnaire, through the measurement of the electromagnetic fields which the Federal Highway Police (PRF) workers are exposed in the state of Rio Grande do Sul, and also through clinical and laboratory tests recognized by the current scientific literature in order to evaluate the biological damages caused by exposure to radiation. After reviewing the scientific literature on the subject, it was evidenced the complexity of this research subject, as well as the difficulty of reproducing the results of studies due to the peculiarities of non-ionizing radiation in living organisms. It was also clear that there were few studies related to occupational exposure to this type of risk. Regarding the analysis of the non-ionizing electromagnetic field in the work environment of the federal highway police, levels above that standardized by the international standards of field strength were identified, as well as changes in the audiometric tests and cell nuclei were identified, but it was not possible to establish a relation of these alterations with the exposure due to the small number of subjects analyzed.

Key words: occupational exposure, non-ionizing radiation, electromagnetic field, biological damage, hearing loss, micronuclei.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Mapa da dissertação.....	19
Figura 2: Espectro das radiações eletromagnéticas.....	23
Figura 3: Simbologia para radiação não ionizante.....	23
Figura 4: Modelo das degenerações celulares (adaptado de TOLBERT et al., 1992).....	34
Figura 5: Analisador de espectro marca Rohde e Schwarz (a) e medidor de radiação marca Narda modelo EMR – 300 (b).....	51
Figura 6: Audiômetro Inventis modelo Harp.....	52
Figura 7: Otoemissor Interacoustics modelo Titan.....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de perda auditiva adaptada de Silman e Silverman (1997).....	53
Tabela 2: Resultado da análise das características de gênero, cor de pele e dominância dos sujeitos.....	58
Tabela 3: Resultados da análise da intensidade de campo medida no ambiente laboral e intensidade indicada pela ICNIRP para 380 – 400 MHz.....	59
Tabela 4: Resultado da análise de dados audiométricos qualitativos dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas.....	60
Tabela 5: Resultados das audiometrias dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas (orelha direita).....	61
Tabela 6: Resultados das audiometrias dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas (orelha esquerda).....	62
Tabela 7: Resultados das otoemissões acústicas dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas.....	63
Tabela 8: Resultado da análise das características, das atividades e das degenerações celulares em cada bochecha e em ambos os lados dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas.....	64
Tabela 9: Resultado da análise das características das atividades dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas.....	65
Tabela 10: Resultado da análise da degeneração do núcleo celular das células esfoliativas da mucosa oral do lado direito e esquerdo entre os sujeitos do setor administrativo e motociclistas.....	66

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3G - terceira geração de telefonia celular que permite acesso a internet em alta velocidade

4G – quarta geração de telefonia celular que permite acesso a internet em alta velocidade

AE – Absorção Específica

AM – Amplitude Modulada

ASHA - American Speech-Language-Hearing Association

CDMA - Code Division Multiple Access

CEM – Campo Eletromagnético

cm – centímetro (s)

dB – decibel

dB(A) – decibel com filtro de ponderação A

dBNA – decibel nível de audição

DNA – Ácido Desoxirribonucleico

DP – Densidade de Potência

FM – Frequência Modulada

g – grama (s)

GHz – gigahertz

GM – Grupo de Motociclistas

GME - Grupamento de Motociclistas Estadual

h – hora (s)

HUMNxl - Human Micronucleus Project on Exfoliated Buccal Cells

Hz – hertz

IARC – International Agency for Research on Cancer

ICEM – Intensidade de Campo Eletromagnético

ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

IEEE - Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos

ILO - International Labour Office

INCA – Instituto Nacional do Câncer José Alencar Gomes da Silva

kg – quilograma (s)

kHz – kilohertz

km – quilômetro (s)

m – metro (s)

MHz – megahertz

min – minuto (s)

mm – milímetro (s)

MN – micronúcleo (s)

NPF - Núcleo de Policiamento e Fiscalização

NR – Norma Regulamentadora

PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

PRF - Polícia Rodoviária Federal

RCEM-RF – Radiação de Campo Eletromagnético de Radiofrequência

RF – Radiofrequência

s – segundo (s)

SNR – Relação Sinal Ruído

SPF - Seção de Policiamento e Fiscalização

SPSS - Statistical Package for the Social Sciences

TAE – Taxa de Absorção Específica

TV UHF – Sinal de TV em Ultra High Frequency

VMA - Valor Médio em Altas Frequências

VMG - Valor Médio em Baixas Frequências

V/m – volt(s) por metro

WHO - World Health Organization

Wi-Fi – Wireless Fidelity (fidelidade sem fio). Rede sem fio

Wi-MAX – Tecnologia semelhante ao Wi-Fi, porém atingindo distâncias até 50 Km.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. CONTEXTO E PROBLEMÁTICA DO ESTUDO.....	14
1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.4. JUSTIFICATIVA.....	16
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	17
1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2. ARTIGO 1 – RADIAÇÕES ELEROMAGNÉTICAS NÃO IONIZANTES E A EXPOSIÇÃO AOS SERES HUMANOS.....	20
2.1. INTRODUÇÃO.....	22
2.2. EFEITO BIOLÓGICO.....	24
2.3. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNETICOS DE ACORDO COM A ICNIRP.....	28
2.4. PERDA AUDITITVA.....	31
2.5. DANO CELULAR.....	32
2.6. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....	35
2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	36
3. ARTIGO 2 – A EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À CAMPO ELETROMAGNÉTICO NÃO IONIZANTE NA POLICIA RODOVIÁRIA FEDERAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	44
3.1 INTRODUÇÃO.....	46
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	49
3.3. SUJEITOS.....	49
3.4. TESTES E EXAMES.....	50
3.4.1. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.....	50
3.4.2. PERDA AUDITITVA.....	51
3.4.3. DANO CELULAR.....	54
3.4.4. QUESTIONÁRIO BIOPSISSOCIAL E LABORAL.....	55
3.5. ANÁLISE DOS DADOS.....	55
3.6. RESULTADOS.....	56

3.6.1. CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES.....	56
3.6.2. SUJEITOS.....	58
3.6.3. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.....	58
3.6.4. PERDA AUDITIVA.....	60
3.6.5. DANO CELULAR.....	63
3.6.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS COLETADOS.....	64
3.7. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A – TERMO DE COSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	75
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO BIOPSISSOCIAL E LABORAL.....	77

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTO E PROBLEMÁTICA DO ESTUDO

As radiações eletromagnéticas são propagações de energia no espaço que ocorrem através da associação dos campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo. São classificadas em função de sua frequência ou comprimento de onda, bem como dos efeitos de sua ação sobre elétrons que compõem os átomos. As exposições a este tipo de radiação sem controle podem levar a ocorrência de lesões ou doenças às pessoas exposta no ambiente de trabalho (CARPENTER, 2013).

Os estudos mais relevantes sobre o tema iniciaram na década de 80, após a identificação de alterações biológicas (SANDERS e JOINES, 1984(A)) e do posicionamento da Organização Mundial da Saúde quanto à prevenção de exposição dos trabalhadores a este tipo de energia não ionizante (WHO, 1987). Na década seguinte se intensificaram os estudos no meio científico para melhor compreensão dos potenciais danos biológicos, como as alterações do DNA (LAI e SINGH, 1995).

Desde o início dos estudos referentes às interações das radiações não ionizantes e seus efeitos sobre a biologia dos seres vivos muitas dúvidas ainda existem sobre suas reais interações. Nesse sentido, a dificuldade de se reproduzirem os dados científicos sobre radiação não ionizante e seus efeitos biológicos é uma constante devido à complexidade das interações entre os vários parâmetros da exposição. O problema reside no fato de que os campos induzidos no corpo humano são altamente não uniformes, variando de diversas formas e magnitudes. Além disto as diferenças de padrões de absorção de energia no corpo do organismo exposto às várias frequências levam a obtenção de dados diversificados tanto mostrando diferentes frequências produzindo diferentes efeitos como também diferentes efeitos numa mesma frequência (SANDERS e JOINES, 1984(B)).

Por exemplo, mudanças na barreira hemato-encefálica foram reportados após exposição à radiação eletromagnética de radiofrequência de 915, 1200, 1300, 2450 e 2800 MHz (BAWIN et al., 1975; BLACKMAN et al., 1980(A)), e efeitos no metabolismo do cálcio reportados em 50, 147, 450 e 915 MHz (BLACKMAN et al., 1980(B)).

Tendo em vista a dificuldade de reprodução de resultados de pesquisas, a International Agency for Research on Cancer (IARC) decidiu classificar as ondas eletromagnéticas não ionizantes como possivelmente carcinogênicas (categoria 2B) (IARC, 2011).

Por causa da proliferação da comunicação sem fio e dos equipamentos que utilizam esta tecnologia nos últimos anos, um grande número de pessoas estão expostas constantemente a este espectro de ondas no local de trabalho, por exemplo trabalhadores do setor elétrico (SAVITZ e AHLBOM, 1994; CORBACIO et al., 2011), pilotos, gestores de escritório, investidores pessoais, revisores de filmes (DAVANIPOUR et al., 2007) e trabalhadores de forma geral (BROUWER et al., 2015). Neste contexto, também pode-se considerar os profissionais que atuam na Polícia Rodoviária Federal que realizam comunicação por meio de radiofrequência.

Embora haja uma importante quantidade de dados científicos publicados sobre o tema, ainda se fazem necessários na literatura mais estudos sobre os riscos de exposição ocupacional a este tipo de radiação. Além disso, poucos trabalhadores e profissionais da área ocupacional conhecem os efeitos deste tipo de energia à saúde como o risco aumentado de neuroma do nervo acústico (LONN et al., 2004; HARDELL et al., 2013; MOON et al., 2014; MORGAN et al., 2015), perda auditiva (SZANTO, 2007), leucemias (COUREAU et al., 2014) e outras patologias que já foram constatadas na literatura.

Considerando esta lacuna da literatura, este trabalho aborda a exposição às radiações, mais especificamente as radiações não ionizantes de radiofrequência, no tocante a saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal no estado do Rio Grande do Sul.

## 1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A radiação de campo eletromagnético de radiofrequência (RCEM-RF) quando é absorvida pelo corpo humano, parte dela pode ser convertida em calor, um mecanismo já conhecido e amplamente discutido na literatura científica de efeito do aquecimento tecidual (efeito térmico). Entretanto, há uma questão a esclarecer, ou seja, se exposição à RCEM-RF pode causar efeitos biológicos perceptíveis a exames clínicos e análise laboratorial sem envolver calor energético (independente de temperatura). O presente estudo se refere à radiação do tipo não ionizante e seus efeitos não térmicos, no tocante a saúde e segurança do dia-a-dia do trabalhador. Esta pesquisa está delimitada a um grupo de trabalhadores voluntários pertencentes à Polícia Rodoviária Federal, em específico aos seus agentes motociclistas e os

trabalhadores do setor administrativo, visando tentar estabelecer prováveis correlações entre o dano biológico investigado e as radiações não ionizantes e seus efeitos não térmicos.

### 1.3. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a influência da exposição à radiação eletromagnética não ionizante e verificar seus efeitos biológicos na saúde durante a realização de atividades laborais.

Para alcançar este objetivo geral são realizados os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar uma revisão da literatura para apresentar as características da exposição das radiações não ionizantes e os eventuais efeitos e/ou danos à saúde dos seres humanos (**Artigo 1**).
- b) realizar a mensuração dos campos eletromagnéticos a que estão expostos os trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) no estado do Rio Grande do Sul e avaliar seus efeitos biológicos causados pela exposição à radiação não ionizante por meio de exames clínicos e análises laboratoriais reconhecidos pela literatura científica vigente (**Artigo 2**).

### 1.4. JUSTIFICATIVA

Do ponto de vista prático, os fatores primordiais que levaram a este estudo foram: a falta de informações e de conscientização dos profissionais da área de saúde ocupacional sobre as radiações a que estão expostos os trabalhadores em redes de alta tensão, telefonia, Wi-Fi e radio transmissão; o crescente uso de equipamentos, que emitem radiações não ionizantes, inclusive no local de trabalho, tais como, aparelhos transceptores, microcomputadores, telefones celulares, rede de dados sem fio, lasers, entre outros e a falta de informações e respostas conclusivas sobre as relações de causa e efeito da exposição à radiação não ionizante.

No que concerne à teoria sobre a exposição de campos eletromagnéticos em meio ocupacional, a literatura ainda carece de maiores estudos sobre o tema, considerando a gama de aparelhos utilizados atualmente como ferramentas indispensáveis de trabalho.



## 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Considerando a abordagem realizada, esta pesquisa parte de uma revisão bibliográfica expositiva cuja temática é a radiação não ionizante e suas características e efeitos sobre a saúde do ser humano com base em pesquisas científicas (**Artigo 1**) (MOREIRA, 2004). Na sequência, como etapa complementar, foi realizada uma pesquisa qualitativa e quantitativa. Nesta, foram utilizados métodos qualitativos como: entrevistas e análise de conteúdos subjetivos das informações prestadas, bem como quantitativos oriundos da coleta de dados para a quantificação de resultados e análises de exposição a campos eletromagnéticos. A natureza da pesquisa desta segunda etapa é aplicada, pois busca gerar conhecimento para aplicação prática, dirigidos a problemas específicos (**Artigo 2**) (SILVEIRA e CÓRDOVA, 2009).

Quanto aos seus objetivos esta é uma pesquisa do tipo descritiva que observa, registra e correlaciona fatos ou fenômenos (GIL, 2002) por meio de coleta de dados. No que concerne aos procedimentos, pode ser classificada como de campo em que se busca identificar os fenômenos no ambiente de trabalho.

## 1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo da dissertação apresenta uma introdução à temática abordada, sua delimitação, os objetivos do estudo, a justificativa para a escolha desses objetivos, o método utilizado no desenvolvimento da pesquisa, as suas limitações e a presente estrutura da dissertação.

O segundo capítulo **Artigo 1** consiste de uma revisão bibliográfica na qual são abordados os aspectos mais relevantes relacionados à radiação não ionizante e o campo eletromagnético como seus princípios básicos, sua interação com a biologia dos seres humanos, os danos biológicos causados e como são mensurados os campos eletromagnéticos na literatura. De forma complementar aborda também os efeitos identificados nos seres humanos como: a perda auditiva, o dano celular relacionado a este tipo de radiação e a exposição ocupacional. Por fim, são realizadas considerações finais sobre a revisão bibliográfica do assunto.

No terceiro capítulo **Artigo 2** é realizada uma introdução sobre as radiações eletromagnéticas não ionizantes, suas interações com os seres vivos e são descritas as relações

desta com a exposição ocupacional no ambiente de trabalho, levando em consideração o estudo destas no meio ocupacional, em especial entre os policiais rodoviários federais expostos no seu cotidiano de trabalho a radiofrequência. Nos procedimentos metodológicos é introduzida uma avaliação ambiental específica de exposição à radiação eletromagnética não ionizante na Polícia Rodoviária Federal. Esta é dividida em: sujeitos em estudo, métodos de mensuração de campo eletromagnético, métodos de avaliação de perda auditiva, métodos para investigação de dano celular; além de um questionário aplicado nos trabalhadores da PRF. Na sequência são apresentados os resultados obtidos com a análise dos sujeitos e das atividades por eles desempenhadas. Também são relatados os resultados obtidos da análise da exposição ambiental aos campos eletromagnéticos de radiofrequência, assim como os resultados da investigação de perda auditiva e os das coletas de células para investigação de alteração de núcleo celular acompanhados de análise estatística dos dados. Por fim, são realizadas as conclusões obtidas ao longo da análise de variáveis quantitativas, que foram descritas pela média e desvio padrão, as com distribuição assimétrica foram descritas por mediana, percentil 25 (P25) e percentil 75 (P75); as variáveis categóricas foram descritas como frequências simples (n) e relativas (%). Para verificar diferença de médias entre os grupos foi utilizado o teste t de Student ou o teste de Mann-Whitney, de acordo com a distribuição das variáveis. A associação entre variáveis categóricas foi avaliada através do teste exato de Fisher. Para verificar diferença de médias considerando os fatores, grupo e lado (direito ou esquerdo) foi utilizada análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas, incluindo teste de interação entre os fatores grupo e lado. Para todas as análises, foi considerado um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas no programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 18.0 (SPSS INC., IBM Company, Chicago, EUA) após são trazidas propostas para estudos futuros nesta área de conhecimento.

O quarto e último capítulo apresenta a conclusão da dissertação com relação aos objetivos propostos e os achados da pesquisa com indicações sobre futuros estudos. A figura 1 ilustra o mapa da dissertação com os procedimentos adotados para a sua realização.

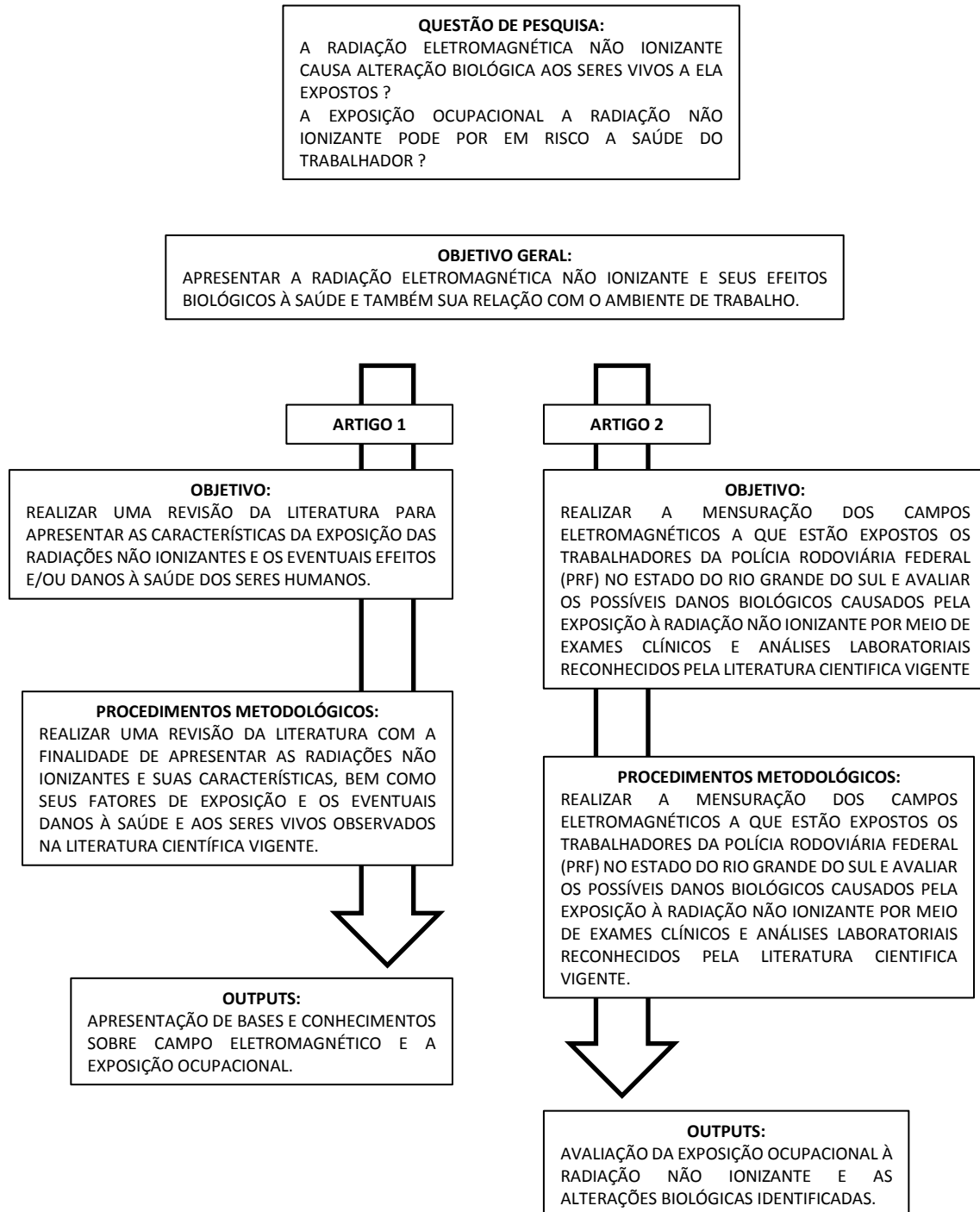


Figura 1: Mapa da dissertação

## 2. ARTIGO 1 – RADIAÇÕES ELEROMAGNÉTICAS NÃO IONIZANTES E A EXPOSIÇÃO AOS SERES HUMANOS

### RESUMO

As Radiações são propagações de energia que podem apresentar comportamento de ondas ou partículas e se propagam com uma determinada velocidade em um determinado meio. Contém energia, carga elétrica e magnética, podendo ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. A exposição humana a este tipo de radiação pode ocorrer devido à utilização de equipamentos de uso pessoal, da exposição a equipamentos de uso ocupacional, e de fontes ambientais como estações de rádio base de telefonia celular e antenas de transmissão. A importância desta questão foi consideravelmente potencializada quando em meados dos anos 90 encontraram-se achados *in vivo* dos riscos à saúde humana. Este trabalho teve como objetivo apresentar a radiação eletromagnética não ionizante, seus fatores de exposição, suas interações e efeitos sobre os seres vivos e a forma de mensuração deste tipo de radiação através de uma revisão bibliográfica da literatura científica. Dos efeitos biológicos foi realizada uma revisão aprofundada sobre a perda auditiva e o dano celular causado por exposição ao campo eletromagnético não ionizante. Também foi analisada nesta revisão a exposição ocupacional à radiação não ionizante. Foram identificados estudos relatando que a exposição ocupacional a este tipo de radiação pode ocasionar alterações em células do sistema auditivo e alguns tipos de câncer do sistema nervoso central; em contrapartida outros estudos não confirmam estes efeitos de exposição tornando necessários mais estudos para melhores esclarecimentos sobre este tipo de exposição ocupacional.

Palavras-chave: radiação eletromagnética não ionizante, campo eletromagnético, radiofrequência, dano biológico, perda auditiva, micronúcleo.

## **ABSTRACT**

Radiations are energy spreads that may exhibit wave or particle behavior and propagate at a certain velocity in a given medium. It contains energy, electric and magnetic charge, and can be generated by natural sources or by devices built by man. Human exposure to this type of radiation can occur due to the use of personal equipment, exposure to occupational equipment, and environmental sources such as cellular radio base stations and transmission antennas. The importance of this issue was considerably enhanced when in the mid 1990s there were found in vivo the risks to human health. The objective of this work was to present the non-ionizing electromagnetic radiation, its exposure factors, its interactions and effects on living beings and the way of measuring this type of radiation through a bibliographical review of the scientific literature. From the biological effects, an in depth review was made of hearing loss and cell damage caused by exposure to the non-ionizing electromagnetic field. Occupational exposure to non-ionizing radiation was also analyzed in this review. Studies have been reported that the occupational exposure to this type of radiation can cause changes in cells of the auditory system and some types of cancer of the central nervous system; in contrast, other studies do not confirm these exposure effects, requiring more studies to better clarify this type of occupational exposure.

**Keywords:** non-ionizing electromagnetic radiation, electromagnetic field, radiofrequency, biological damage, hearing loss, micronucleus.

## 2.1. INTRODUÇÃO

As Radiações são propagações de energia que podem apresentar comportamento de ondas ou partículas e se propagam com uma determinada velocidade em um determinado meio. Contém energia, carga elétrica e magnética, podendo ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. O sol é a principal fonte natural da radiação eletromagnética. Com exceção dos raios de luz visíveis, as demais radiações são invisíveis, e dificilmente detectáveis por meios naturais.

Dependendo da quantidade de energia, uma radiação pode ser classificada em ionizante ou não ionizante.

As Radiações Ionizantes podem alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados. Este processo chama-se ionização. As radiações ionizantes incluem os raios alfa, beta e gama, os raios X, nêutrons e prótons, e tem a capacidade de produzir íons, direta ou indiretamente.

As Radiações Não Ionizantes possuem relativamente baixa energia. As ondas eletromagnéticas como a luz, calor e ondas de rádio, estão presentes no meio ambiente e são formas comuns de radiações não ionizantes. Essas radiações compreendem todas as radiações eletromagnéticas cuja energia por fótons seja inferior a 12 elétrons-volts, e caracterizam-se por não possuírem energia suficiente para ionizar os átomos ou moléculas com os quais interagem.

Os principais tipos de Radiação Não Ionizantes e suas fontes são a radiação ultravioleta, a luz visível e infravermelha, oriundas de radiação solar, de lâmpadas (incandescentes, fluorescentes e de descarga), e de raios *laser*; e as Micro-ondas e radiofrequências, oriundas de equipamentos de rádio e de telecomunicações, fornos de aquecimento, fornos de indução, de aparelhos de esterilização, dentre outros.

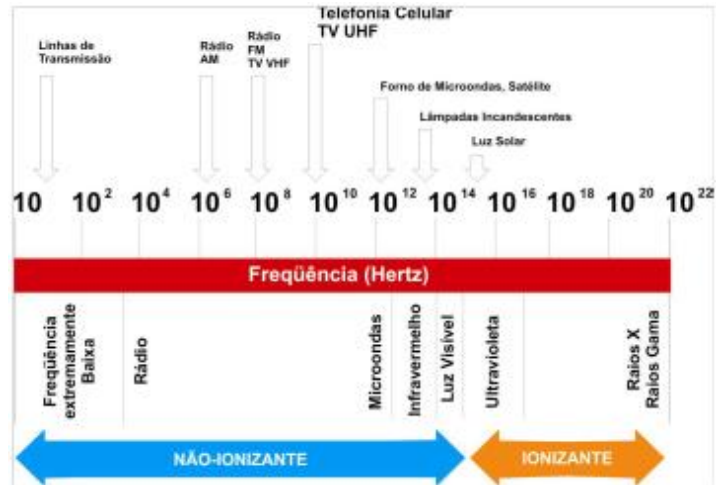


Figura 2: Espectro das radiações eletromagnéticas



Figura 3: Simbologia para radiação não ionizante

É denominado de espectro eletromagnético a extensa faixa de frequências que contém tanto as radiações ionizantes quanto as não ionizantes conforme demonstrado na figura 2. A figura 3 indica a simbologia representativa da radiação não ionizante.

A radiação de campo eletromagnético de rádio frequência (RCEM-RF) cobre uma enorme parte do espectro eletromagnético e enquadra-se nas ondas não ionizantes. Seu alcance de frequência atinge entre 3 kHz e 300 GHz.

A exposição humana à RCEM-RF pode ocorrer devido à utilização de equipamentos de uso pessoal (telefones móveis, telefones sem fio, *Bluetooth*, rádio amadores...), da exposição a equipamentos de uso ocupacional (aquecedores dielétricos e de indução de alta frequência, radares de pulso de alta potência, transceptores de radiofrequência, instrumentais médicos...), e de fontes ambientais como estações de rádio base de telefonia celular e antenas de transmissão.

Para os trabalhadores a maioria da exposição à RCEM-RF vem de fontes de campo próximas ao local de trabalho, enquanto a população em geral fica mais exposta a transceptores

próximos ao corpo, através de aparelhos manuais, como o telefone móvel e transceptores portáteis de rádio.

Diferentes frequências de RCEM-RF são usadas em diversas aplicações. Por exemplo, a frequência de 540-1600 kHz é usada em rádio transmissão AM. Enquanto 76-108 MHz é usado para rádio FM. A tecnologia celular usa frequências principalmente entre 800 MHz a 3 GHz; e a frequência de 2450 MHz é usada em fornos de micro-ondas, sistema tipo “wireless”, como Wi-Fi, Wi-MAX, *Bluetooth*, bem como em telefonia celular 4G.

Por causa da proliferação da comunicação sem fio nos últimos anos, uma grande quantidade de pessoas está exposta à RCEM-RF constantemente. O aumento no uso de equipamentos dependentes desta tecnologia no cotidiano das atividades laborativas trouxe à tona uma necessidade de determinar se estes podem constituir um risco à saúde humana.

## 2.2. EFEITO BIOLÓGICO

A importância desta questão foi consideravelmente potencializada quando em meados dos anos 90 encontraram-se achados *in vivo* dos riscos à saúde humana (LAI e SINGH, 1995). Fato este que teve apoio científico com os resultados de estudos *in vitro* indicando que campos eletromagnéticos (CEM) são capazes de causar dano ao DNA (LOURENCINI DA SILVA e ALBANO, 2000).

No âmbito dos CEM não ionizantes de radiofrequência e/ou micro-ondas, a preocupação maior se dá com relação aos possíveis efeitos biológicos da RCEM-RF à saúde devido a exposição ambiental a este tipo de radiação e devido ao uso de equipamentos que transmitem este tipo de radiação, como o telefone celular e transceptores de rádio. Neste caso, a proximidade da antena do aparelho leva a um acúmulo relativamente grande de energia de radiofrequência localizado na cabeça e a exposição à RCEM-RF dos celulares é de pouca duração, repetitiva, relativamente de alta intensidade e bem localizada na cabeça.

Estudos relativos à exposição à RCEM-RF de antenas radiotransmissoras AM evidenciam que a proximidade de crianças morando num raio menor que 2 km aumenta o risco relativo de apresentarem qualquer tipo de leucemia em 2.15 em comparação às crianças que moram a uma distância maior que 20 km da fonte (HA et al., 2007). Estudos relativos ao uso de telefone celular e a radiação absorvida durante seu uso muito contínuo ( $\geq 896$  horas cumulativas de uso) apresentam OR 2.89 (95% IC 1.41-5.93) após 1 ano do primeiro uso; uma



OR 3.03, (95% CI 1.47-6.26) após o 2º anos e uma OR 5.30, (95% CI 2.12-13.23) após o 5 anos (COUREAU et al., 2014).

Os efeitos biológicos da RCEM-RF dependem da quantidade de energia que é depositada no organismo exposto. Neste sentido, são levados em consideração três parâmetros físicos maiores: frequência, intensidade e duração da exposição.

Para se entender os efeitos à saúde, causado pela exposição à RCEM-RF, primeiramente precisam ser entendidos os efeitos desses diferentes parâmetros e como eles interagem entre si. Os campos eletromagnéticos gerados por fontes de radiofrequência se acoplam ao corpo resultando em campos eletromagnéticos induzidos e correntes associadas dentro dos tecidos. Neste contexto, os fatores mais importantes que determinam o campo induzido são: a distância da fonte ao corpo, o nível de potência gerada e a frequência de operação gerada. Adicionalmente, a eficiência da acoplagem e a distribuição do campo dentro do corpo dependem fortemente, além da frequência, da polarização e da direção da incidência no corpo e das características anatômicas da pessoa exposta, tais como: altura, índice de massa corpórea, postura e as propriedades dielétricas dos tecidos.

Os campos induzidos dentro do corpo são altamente não uniformes, variando de diversas formas e magnitude nos locais ativos. Os dados coletados em locais com campos ativos são tão diversificados que mostram tanto diferentes frequências produzindo diferentes efeitos quanto algumas frequências produzindo efeitos, mas outras não (SANDERS e JOINES, 1984(B)). Por outro lado, observa-se outros estudos sugerindo que diferentes frequências podem produzir os mesmos efeitos. Por exemplo, mudanças na barreira hemato-encefálica foram reportados após exposição à RCEM-RF de 915, 1200, 1300, 2450 MHz e 2800 MHz (BAWIN et al., 1975; BLACKMAN et al., 1980(A)), e efeitos no metabolismo do cálcio reportados em 50, 147, 450 e 915 MHz (BLACKMAN et al., 1980(B)).

Entretanto, não se pode afirmar que essas diferenças de efeitos em diferentes frequências se dão devido às diferenças de padrões de energia absorvidos no corpo do organismo exposto às variadas frequências. Esses resultados talvez sugiram que a frequência da RCEM-RF pode ser fator determinante na manifestação biológica da exposição.

A intensidade de RCEM-RF no ambiente é a densidade de potência (DP) medida em unidade como miliwatts/cm<sup>2</sup>. Entretanto, a DP fornece pouca informação quanto às consequências biológicas, a menos que a quantidade de energia absorvida pelo objeto irradiado seja conhecida. Isso, geralmente é dado como a Taxa de Absorção Específica (TAE), que é a taxa de energia absorvida por unidade de massa de tecido do objeto e, geralmente, expressa em

watts/kg. Assim sendo, para entender os efeitos biológicos da RCEM-RF, é necessário saber a TAE. Este é um índice mais confiável e determinante dos efeitos biológicos da RCEM-RF que a DP.

Além disso, há algumas indicações que os efeitos biológicos podem também depender de como a energia é depositada no corpo. A taxa de absorção e de distribuição da RCEM-RF em um organismo depende de vários fatores. Entre estes, a composição dielétrica do tecido irradiado, exemplo: ossos, com sua quantidade de água, absorvem menos energia que os músculos, o tamanho do objeto em relação ao comprimento de onda da RCEM-RF, a forma, a geometria, e orientação do objeto e a configuração da radiação, exemplo: qual a proximidade do objeto em relação à fonte de RCEM-RF. Esses fatores fazem com que a distribuição de energia absorvida em um organismo seja extremamente complexa e não uniforme e que também leva a formação dos chamados ‘pontos quentes’ de energia concentrada no tecido.

A situação mais complicada é aquela em que o corpo avaliado está se movendo dentro do campo de radiofrequência. Dependendo da quantidade de movimento do organismo, o padrão de absorção de energia no seu corpo pode se tornar ainda mais complexo e imprevisível ou mais uniforme. Assim, o padrão de energia absorvido dentro de um corpo irradiado não é uniforme e as respostas biológicas são dependentes da distribuição de energia e da parte do corpo afetada.

As diferentes características dos sinais irradiados como ‘modulação’, ou diferentes formas de onda podem causar efeitos diferentes num organismo vivo. Por exemplo, a mesma quantidade de energia pode ser entregue ao tecido de forma ‘contínua’ ou em ‘pulsos curtos’.

Outro detalhe interessante é que a RCEM-RF modulada e em pulso parece ser mais propícia para produzir efeitos danosos. Segundo estudos anteriores, elas podem ainda apresentar efeitos diferenciados quando comparados à radiação contínua na mesma frequência (OSCAR e HAWKINS, 1977; FREY et al., 1975; LAI, 1988; ARBER, 1985).

A maioria dos estudos com RCEM-RF analisados neste trabalho foi conduzida por um período curto de tempo de exposição de alguns minutos a poucos dias, desta forma, pouco se sabe sobre a exposição de longa duração. Porém, nas situações de exposição ocupacional humana sabe-se que a exposição à RCEM-RF tende a ser repetitiva e de longa duração.

Efeitos diferentes foram observados após diferente duração de exposição à radiação não ionizante (LAI et al, 1989; DI CARLO et al., 2002). Alguns efeitos foram observados após exposição prolongada e repetitiva, mas não em curto período de tempo (BARANSKI, 1972; TAKASHIMA et al., 1979). Estudos realizados principalmente na década de 80 observaram

efeitos após exposição de curta duração e que desapareceram após exposição prolongada e repetitiva (habitual) (JOHNSON et al., 1983; LAI et al., 1987; LAI et al., 1992).

Há também a indicação de que um organismo vivo se torne mais sensível à radiação após uma exposição de longa duração. Assim, a RCEM-RF pode produzir um efeito danoso mesmo quando irradiadas em menor intensidade em seres repetidamente expostos. Isso pode ter uma importante implicação nas pessoas expostas à RCEM-RF no ambiente de trabalho (DE LORGE et al., 1980; D'ANDREA et al., 1986; DEWITT et al., 1987).

Há também evidências que os efeitos danosos da RCEM-RF aumentem ao longo do tempo. Relatos de danos ao DNA celular, após 24 horas de exposição em baixa frequência de RCEM-RF, sugerem que estes danos ao DNA podem levar a uma mutação genética que se acumula através do tempo (PHILLIPS et al., 1998). A possibilidade de que efeitos aumentem através do tempo e que efeitos agudos mudem conforme a exposição repetitiva tem aplicação importante na padronização da exposição à RCEM-RF. Isso sugere que a quantidade total de energia absorvida, a absorção específica (AE) ( $AE = TEA \times \text{tempo}$ ) mais que taxa de absorção específica (TEA), deve ser utilizada como índice para sua mensuração.

Quando a RCEM-RF é absorvida, parte dela pode ser convertida em calor. Um mecanismo já conhecido de efeito da RCEM-RF é o aquecimento tecidual (efeito térmico). Os organismos biológicos alteram suas funções conforme sua mudança de temperatura (LAMPARELLI et al., 1998). Entretanto, há uma questão a ser esclarecida: se os efeitos 'não térmicos' podem ocorrer ou não na exposição à RCEM-RF. Neste âmbito, pode haver dois significados do termo efeito 'não térmico'. De uma maneira, ele pode significar que um efeito ocorre sob condições que não alteram a temperatura do objeto ou tecido exposto, ou sugerindo que mecanismos fisiológicos ou exógenos mantenham a temperatura constante. Ou ainda, o segundo significado que pode ser de como a RCEM-RF causa efeitos biológicos sem envolver calor energético (independente de temperatura) (MANCINELLI et al., 2004). Entretanto, pode ser impraticável realizar esta distinção, simplesmente porque é muito difícil excluir os efeitos térmicos na resposta biológica à RCEM-RF, e ainda porque o calor energético é inevitavelmente dissipado quando a RCEM-RF é absorvida.

A fisiologia da regulação da temperatura corpórea é complexa e pode envolver vários sistemas e órgãos. Assim, as mudanças na atividade termo regulatória podem, indiretamente, ser uma resposta biológica à RCEM-RF (GLASER, 2005).

Outra dificuldade de eliminar a contribuição dos efeitos térmicos é que estes podem ser 'microtérmicos'. Um exemplo disto é o efeito sonoro da RCEM-RF pulsada, pois pode-se ouvir

a RCEM-RF emitida em pulsos. Uma das explicações é que este ‘som’ ouvido é causado pelo efeito termo elástico expansivo nas células ciliadas do sujeito que é ‘ouvinte’ (CHOU et al., 1982).

Frequentemente percebem-se dificuldades de se reproduzir ou replicar os resultados relatados na pesquisa com RCEM-RF. A pesquisa com RCEM-RF é bastante complexa devido às interações entre os vários parâmetros da exposição. Além disto, pessoas sob o uso de certos medicamentos podem ser mais suscetíveis à RCEM-RF (KUES et al., 1992). Outra consideração importante é que a genética do organismo pode afetar sua resposta aos campos eletromagnéticos (FEDROWITZ et al., 2004).

Com tantas dificuldades de se reproduzir resultados nesta área de conhecimento, muitas pessoas ainda se perguntam sobre os reais riscos de exposição à RCEM-RF e seu papel na saúde do trabalhador. Além disso, em um ambiente laboral, outras questões podem ainda surgir, por exemplo, como realizar a mensuração e identificação do campo eletromagnético conforme normas vigentes, bem como quais são os exames consagrados na literatura científica para identificação de alterações biológicas associadas a este tipo de radiação.

### 2.3. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS DE ACORDO COM A ICNIRP

A International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) é uma organização científica cujo objetivo é fornecer orientações e cuidados relacionados aos riscos à saúde da exposição à radiação não ionizante. A ICNIRP é uma entidade não-governamental que atua na área de radiações não ionizantes tendo relação direta com a World Health Organization (WHO) e o International Labour Office (ILO). Esta organização estabeleceu os princípios da proteção para as radiações não ionizantes formulando programas de proteção em níveis nacionais e internacionais.

Dado a disparidade da natureza da fonte emissora de radiação não ionizante, uma ampla variedade de abordagens é utilizada para avaliar a exposição aos campos eletromagnéticos. Há muitos fatores que afetam os instrumentos de medição e o uso destes depende das necessidades específicas do que se pretende avaliar.

Segundo a ICNIRP, tanto os instrumentos de banda estreita como de banda larga podem ser utilizados para avaliação de exposição a campos eletromagnéticos de rádio frequência.

Assim, para a escolha do equipamento ideal de mensuração é necessário considerar alguns fatores-chave que incluem: o tempo de resposta do instrumento, a limitação do pico de intensidade do sensor, os tipos de polarização do campo, a dinâmica de amplitude do instrumento, as características de resposta do sinal a ser mensurado, incluindo detalhes do espectro de frequência a variações no tempo, modulação e harmônicos e a capacidade de medir em campos próximos ou distantes, dependendo das circunstâncias de mensuração do campo. Além do mais, deve ser feita a calibração apropriada do instrumento usando sinais reais como referência.

Para medições externas há essencialmente três métodos de mensuração de campos eletromagnéticos: a pesquisa por instrumentação portátil, análise de espectro e monitoramento pessoal de exposição. A mensuração portátil de radiofrequência por instrumento proporciona uma forma relativamente simples e conveniente de medir a intensidade de campos eletromagnéticos, permitindo avaliar o cumprimento das normas quanto à exposição. É um tipo de instrumento de banda larga, especialmente desenhado para ter um sensor de campos de radiofrequência com sensibilidade de detecção, que varia em função da frequência de campo. As limitações inerentes à medição por instrumentos de banda larga devido à intensidade relativa do espectro, tempo de resposta lento e a falta de informação das frequências medidas de campo podem ser superadas por instrumentos de medição de banda estreita, como os que analisam espectros de campo. Há vários parâmetros que precisam ser cuidadosamente ajustados quando se usa um analisador de espectro de campo para se obter uma leitura do sinal desejado como a amplitude de frequência, resolução de largura de banda, número de pontos, tempo de permanência e tipo de detector.

Nos últimos anos, os sistemas de telecomunicação desenvolveram sinais separados e transmitidos baseados na forma ortogonal de onda que os diferenciam mais que a frequência e/ou o tempo. Muitos sinais são assim transmitidos no mesmo tempo na mesma faixa de frequência significando que, mesmo um analisador de espectro não consegue separar os campos para análise. Tais sistemas incluem os sistemas 3G e 4G, que usam CDMA (Code Division Multiple Access). Com o intuito de identificar os sinais relacionados a este tipo de sistema, é necessário o uso de equipamento especial com capacidade de correlacionar todos os possíveis padrões de sinais e assim identificar o nível de intensidade e a fonte de cada sinal individual presente.

Para estudos do efeito da exposição a campos eletromagnéticos à saúde é importante ter uma estimativa da duração da exposição. No passado, a avaliação de exposição pessoal foi

realizada utilizando dados da exposição obtidos de mensurações focais. Mais recentemente, os instrumentos de medida foram desenvolvidos para realizar estimativas de exposição por equipamentos acoplados ao corpo. O tipo de equipamento de monitoração depende do ambiente em que a pessoa se encontra exposta. Trabalhadores em locais com antenas têm usado um equipamento do tamanho de um chaveiro, o que é relativamente barato. Enquanto instrumentos mais sensíveis foram desenvolvidos para capturar a exposição da população em geral a níveis relativamente baixos de amplitude de bandas de frequências utilizados nas telecomunicações. A característica desses tipos de equipamento é de carregarem os dados entrantes por um período de atividade que fornece amostra da intensidade do campo periodicamente e armazena os resultados para posterior avaliação.

Já o monitoramento pessoal é muito útil para categorizar os grupos de pessoas expostas em estudos epidemiológicos. Os componentes de campo elétrico e magnético de um campo eletromagnético podem variar ao longo do espaço e ao longo do tempo em termos de sua magnitude e direção. Neste caso, a perturbação do campo em contato com o corpo pode resultar em incertezas consideráveis e a precisão do monitoramento pessoal será limitada em função da uniformidade do campo no corpo.

A ICNIRP e o Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) dos Estados Unidos recomendaram orientações de exposição segura aos campos eletromagnéticos (baseadas no limiar para a perturbação do comportamento a 4 W/kg de média para o corpo inteiro) para proteger as pessoas que estão expostas em meio ocupacional à radiofrequência, assim como o público em geral. A taxa de absorção específica (TAE) média recomendada (corpo inteiro) para as pessoas expostas ocupacionalmente é de 0,4 W/kg (1/10 de fator de segurança), enquanto que para o público em geral é de 0,08 W/kg (1/50 de fator de segurança). Quanto aos níveis de intensidade de campo elétrico a que estão expostas as pessoas a ICNIRP preconiza como limites os níveis até 61 V/m para pessoas expostas de maneira ocupacional e 28 V/m para o público em geral nas frequências de 10 – 400 MHz. Vale ressaltar que a ICNIRP leva em consideração somente os efeitos térmicos de curta duração das radiações não ionizantes.

## 2.4. PERDA AUDITIVA

A capacidade de ouvir e interpretar sons não é uma habilidade sensorial isolada de outras, envolve diferentes níveis de organização em todo o trajeto do sistema auditivo, desde a orelha externa até os núcleos e vias do tronco encefálico, subcórtex, áreas de associação tanto primária quanto secundária e corpo caloso no sistema nervoso central (ASHA, 1996). Quando identificado algum distúrbio do funcionamento da audição encontra-se presente um quadro de perda auditiva. Para avaliar a capacidade auditiva do trabalhador, principalmente se existir suspeita de perda de audição ou quando ocorrerem traumas, tímpano rompido, uso excessivo de medicamentos, infecções e história hereditária de alteração auditiva, se lança mão de exames como a audiometria e a otoemissão acústica.

A perda auditiva pode ser sensorineural ou condutiva. Caso a perda auditiva seja sensorineural, esta pode ser causada pela lesão das células ciliadas no ouvido interno. A causa de perda auditiva sensorineural pode ser, por exemplo, devido a fatores ambientais como o ruído, idade, medicamento e estilo de vida, como também devido a fatores genéticos (MINITI, 2000). Já a perda auditiva condutiva, é causada pela habilidade de conduzir o som do ouvido externo e médio para o ouvido interno, sendo este reduzido ou eliminado (HYPPOLITO, 2005). O trabalhador pode também ter tanto perda auditiva sensorineural, como perda auditiva condutiva, simultaneamente, conhecido como perda auditiva mista (COSTA, 1994).

A perda auditiva pode ser nomeada segundo as causas, por exemplo, perda auditiva induzida por ruído é causada devido exposição a altos níveis de ruído (NUDELMANN et al. 2001); perda auditiva relacionada à idade (conhecida como presbiacusia) é causada pela idade e degeneração do sistema auditivo (CRUZ et al., 2002); e perda auditiva genética é causada por fatores genéticos intrínsecos (GODINHO et al., 2003).

Com relação à exposição de RCEM-RF, os efeitos indesejáveis ao complexo sistema auditivo são importantes na investigação dos efeitos adversos sobre a saúde. Assim que as tecnologias que utilizam radiação não ionizante se aproximaram da orelha, vários estudos foram realizados voltados para o sistema auditivo com o intuito de avaliar os possíveis efeitos causados pela exposição a CEM. Fora a percepção acústica associada ao calor induzido pelas ondas eletromagnéticas, os resultados dos estudos foram divergentes e esporádicos. MERIÇ et al., (1998) após avaliação da exposição ocupacional a CEM em termos de perda auditiva, identificou incidência maior em frequência de 4 kHz que o grupo controle. SZANTO (2007)

identificou em operadores de radar e um grupo controle expostos a ruído ocupacional a associação de índices elevados de CEM e a existência de perda auditiva nas frequências de 4, 6 e 8 kHz. Estudos mostram efeitos da exposição à RCEM-RF na atividade neural do nervo auditivo (HAMBLIN et al., 2004). Estudos transversais encontraram evidências de risco aumentado de neuroma do nervo acústico em usuários de telefone celular (LONN et al., 2004; HARDELL et al., 2013; MOON et al., 2014; MORGAN et al., 2015).

Alguns estudos levaram em consideração um baixo tempo de exposição, até 10 minutos (OZTURAN et al., 2002; ULOZIENE et al., 2005) e outros, um tempo maior foi avaliado (OKTAY e DASDAG, 2006). A maioria dos estudos não fornecem evidências suficientes que apoiem o fato de que efeitos de curto prazo de exposição à radiação de campo eletromagnético do telefone celular possam alterar a função auditiva coclear ou do tronco encefálico (KHALIL e NUNEZ, 2006). A exposição à radiação não ionizante de telefones móveis não mostra efeitos na avaliação das medidas do limiar auditivo, otoemissões acústicas e do limiar de resposta de tronco encefálico para exposição menor que 10 minutos (PARAZZINI et al., 2007). Estudos mais recentes relatam não haver alterações mensuráveis em exames de resposta de ondas cerebrais auditivas a exposição por curto período de tempo (até 30 minutos por dia) por período de até 5 anos. Entretanto, a exposição continuada por período de até 10 anos pode aumentar a latência de ondas I e II representando comprometimento do trajeto periférico do nervo auditivo (KHULLAR et al., 2013).

## 2.5. DANO CELULAR

Os efeitos indesejáveis da exposição à RCEM-RF no material genético (DNA) são importantes na investigação dos efeitos adversos sobre a saúde. Qualquer lesão primária irreparável ou reparada de forma errada no DNA, como quebras na cadeia simples ou dupla, pode levar a formação de aberrações dos cromossomos e mutações que podem levar a carcinogênese ou morte celular (KHALIL e QASSEM, 1991).

O dano no DNA em nível cromossômico é uma parte essencial da toxicologia genética, pois a mutação cromossômica é um importante evento na carcinogênese. Para avaliar o dano cromossômico surgiu o teste do micronúcleo (MN) como um dos métodos preferidos, pois possibilita que tanto a perda cromossômica quanto a ruptura do cromossomo sejam avaliados de forma confiável. O micronúcleo se origina de fragmentos de cromossomos ou de todo um



cromossomo que apresenta algum atraso na anáfase durante sua divisão celular (FENECH et al., 1999; FENECH e CROTT, 2002). Em humanos, o MN pode ser facilmente acessado em eritrócitos, linfócitos e células esfoliativas epiteliais (ex. oral, urotelial, nasal) para se obter uma mensuração do dano induzido ao genoma *in vivo*. As células bucais são a primeira barreira de defesa contra agentes carcinogênicos inalados ou ingeridos, assim as células epiteliais orais são o sítio preferido para identificação de eventos iniciais de genotoxicidade adquiridos por estas vias (ROSIN, 1992).

Devido à facilidade para coleta de material para análise as células epiteliais orais acabam sendo a escolha preferida para investigação de outros agentes carcinogênicos, mesmo que por outras vias de contaminação e exposição. O epitélio oral se mantém em constante renovação celular no qual novas células produzidas na camada basal migram por mitose para a superfície tecidual substituindo o arcabouço tecidual superficial. A camada basal contém células-tronco que podem expressar dano genético (quebra ou perda cromossômica) como o MN durante a divisão celular. As células filhas, que podem ou não conter MN, eventualmente se diferenciam na camada laminar de células e na camada superficial queratinizada, e depois esfoliam na cavidade oral. Algumas dessas células podem degenerar em células com cromatina condensada, núcleo fragmentado (células cariorréticas), núcleo picnótico, ou perder completamente o material nuclear (célula cariolítica ou fantasma). Em casos raros, algumas células podem ser bloqueadas em um estágio binucleado ou podem exibir botões nucleares (também conhecidos como '*broken eggs*') que são biomarcadores de amplificação gênica (TOLBERT et al., 1992). Esses biomarcadores de dano no genoma celular (ex. MN, brotamentos nucleares) e de morte celular (ex. apoptose, cariólise) (Figura 4) podem ser observados nos linfócitos ou nas células bucais, e assim prover uma maior compreensão do dano no genoma celular que somente o MN no contexto de citotoxicidade e efeito citostático (FENECH e CROTT, 2002).

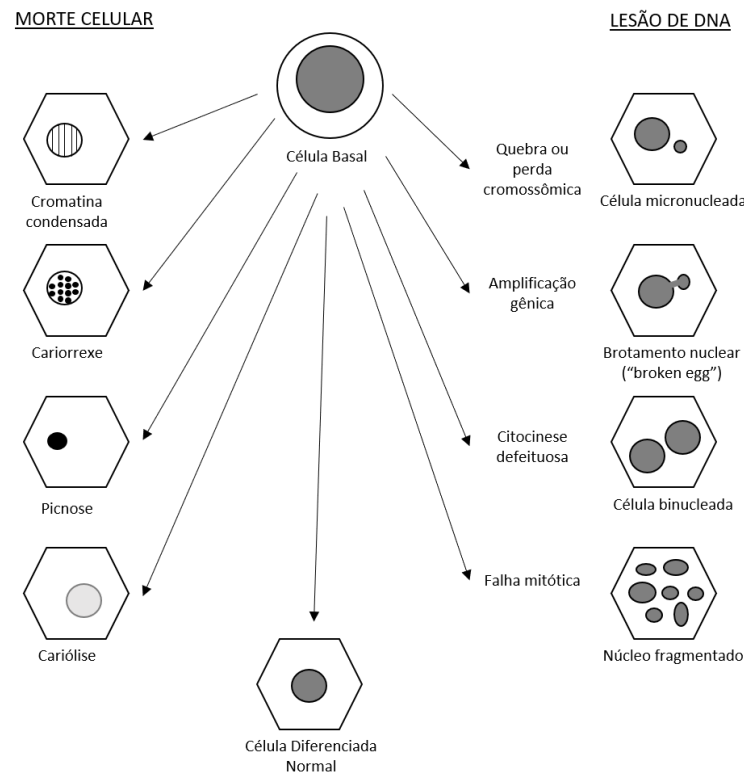


Figura 4: Modelo das degenerações celulares  
(Adaptado de TOLBERT et al., 1992)

O Human Micronucleus Project on Exfoliated Buccal Cells (HUMNxl) é um estudo colaborativo que visa reduzir a variabilidade de protocolos, avaliar o papel dos colaboradores deste estudo e estimar uma série de valores de referência na análise de MN em células esfoliativas bucais. O HUMNxl avalia o impacto dos fatores relacionados ao hospedeiro, a ocupação, o estilo de vida, o status da doença e as características de protocolos sobre a ocorrência de MN em células bucais esfoliativas. A frequência espontânea de MN em indivíduos saudáveis, não expostos a agentes químicos genotóxicos ou radiação, encontrada no HUMNxl é de (95% CI 0,52 – 1,05) por 1000 células esfoliativas, que representa a frequência esperada em indivíduos não expostos, não doentes (BONASSI et al., 2011).

## 2.6. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Estudos voltados para área ocupacional avaliaram os riscos potenciais à saúde dos trabalhadores devido à exposição a campos eletromagnéticos, especialmente a mensuração destes durante a jornada de trabalho. O primeiro estudo deste tipo foi de MILHAM (1982), que utilizou um banco de dados de certidões de óbito que incluía dados sobre a atividade ocupacional e informações sobre mortalidade por câncer. De forma grosseira para avaliação de exposição, o autor classificou as atividades laborativas de acordo com o risco presumível de exposição a campos magnéticos e encontrou um risco aumentado de leucemia entre os trabalhadores do setor elétrico. Estudos subsequentes SAVITZ e AHLBOM (1994) fizeram uso do mesmo banco de dados; os tipos de cânceres para os quais apresentavam taxas elevadas variaram conforme os estudos, particularmente quando os subtipos de cânceres foram avaliados. Estes estudos iniciais sofreram de resultados inconsistentes, assim como por falha no controle de fatores de confusão como exposição a outros agentes causadores de câncer no ambiente de trabalho como a exposição ao benzeno. Outros estudos também focaram no risco do desenvolvimento de câncer como BALAMURALIKRISHNAN et al. (2012). Outros avaliaram a exposição e a relação com a doença de Parkinson (BROUWER et al., 2015), doença do neurônio motor e doença de Alzheimer (QIU et al., 2004; HUG et al., 2006; SORAHAN et al., 2007; DAVANIPOUR et al., 2007; VERGARA et al., 2013). Outros estudos sugerem que a exposição ocupacional a campos eletromagnéticos pode levar a estados demenciais (FEYCHTING et al., 1998) e também pode alterar a curva de aprendizado da atividade laborativa (CORBACIO et al., 2011). Mais especificamente, a exposição ocupacional a campos eletromagnéticos de baixa frequência foi associada ao aumento de cefaleias, insônia e zumbido devido a alterações localizadas nas células ciliadas do ouvido (ZHAO et al., 2013).

Os estudos sobre a RCEM-RF, voltados à exposição ocupacional, geraram uma mistura de resultados; alguns mostrando não haver efeitos (SORAHAN et al., 2001) e outros mostrando um risco aumentado de câncer do sistema nervoso central, leucemia, câncer de pulmão e doença de Hodgkin (KOEMAN et al., 2014; RÖÖSLI et al., 2007).

## 2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo apresentar a radiação eletromagnética não ionizante, seus fatores de exposição e suas interações e efeitos sobre os seres vivos. Por meio de uma revisão bibliográfica foi possível identificar os efeitos biológicos sobre a saúde humana, bem como a forma de mensuração deste tipo de radiação. Dos efeitos biológicos identificados, a perda auditiva e o dano celular causado por exposição ao campo eletromagnético e à radiação não ionizante foram os mais estudados.

Após a revisão da literatura científica referente ao tema, ficou também evidenciada a diversidade de estudos e a dificuldade de reprodução dos resultados encontrados nos trabalhos existentes, isto devido às peculiaridades das radiações não ionizantes nos organismos vivos. Os métodos de mensuração deste tipo de radiação mostraram-se bem conhecidos e divulgados na literatura, assim como os danos causados ao DNA das células. Porém, a ocorrência de lesões específicas em órgãos alvo, após exposição a este tipo de radiação, é uma resposta que necessita ainda de maiores estudos. De maneira complementar, foram identificados estudos relatando que a exposição ocupacional a este tipo de radiação pode ocasionar alterações em células do sistema auditivo e alguns tipos de câncer do sistema nervoso central. Em contrapartida, outros não confirmaram estes efeitos de exposição tornando necessários mais trabalhos científicos transversais e, principalmente, longitudinais para melhores esclarecimentos sobre este tipo de exposição ocupacional.

## REFERÊNCIAS

Arber, S.L.; Lin, J.C. Microwave-induced changes in nerve cells: effects of modulation and temperature. *Bioelectromagnetics* 1985, 6, 257–270

ASHA, American speech-language-hearing association. (Central) auditory processing disorders. 2005. Disponível em <http://www.asha.org>

Balamuralikrishnan, B.; Balachandar, V.; Kumar, S.S.; Stalin, N.; Varsha, P.; Devi, S.M.; Arun, M.; Manikantan, P.; Venkatesan, C.; Sasikala, K.; Dharwadkar, S.N. Evaluation of chromosomal alteration in electrical workers occupationally exposed to low frequency of

electromagnetic field (EMFs) in Coimbatore population, India. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 2012; 13(6): 2961-6

Baranski, S. Histological and histochemical effects of microwave irradiation on the central nervous system of rabbits and guinea pigs. *Am. J. Physiol. Med.* 1972, 51, 182–190

Bawin, S.M.; Kaczmarek, L.K.; Adey, W.R. Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1975, 247, 74–81

Blackman, C.F.; Benane, S.G.; Elder, J.A.; House, D.E.; Lampe, J.A.; Faulk, J.M. Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window. *Bioelectromagnetics* 1980a, 1, 35–43

Blackman, C.F.; Benane, S.G.; Joines, W.T.; Hollis S, M.A.; House, D.E. Calcium ion efflux from brain tissue: power density versus internal field-intensity dependencies at 50-MHz RF radiation. *Bioelectromagnetics* 1980b, 1, 277–283

Bonassi, S. et al. The HUMAN MicroNucleus project on exfoliated buccal cells (HUMN(XL)): the role of life-style, host factors, occupational exposures, health status, and assay protocol. *Mutation Research* 2011 Nov-Dec; 728(3): 88-97

Brouwer, M.; Koeman, T.; van den Brandt, P.A.; Kromhout, H.; Schouten, L.J.; Peters, S.; Huss, A.; Vermeulen, R. Occupational exposures and Parkinson's disease mortality in a prospective Dutch cohort. *Occup. Environ. Med.* 2015 Jun; 72(6): 448-55

Chou, C.K.; Guy, A.W.; Galambos, R. Auditory perception of radiofrequency electromagnetic fields. *J. Acoust. Soc. Am.* 1982, 71, 1321–1334

Corbacio, M.; Brown, S.; Dubois, S.; Goulet, D.; Prato, F.S.; Thomas, A.W.; Legros, A. Human cognitive performance in a 3 mT power-line frequency magnetic field. *Bioelectromagnetics.* 2011 Dec; 32(8): 620-33

Costa, M. da P.R da: O Deficiente auditivo. São Carlos: EDU FSCar. 1994

Coureau, G.; Bouvier, G.; Lebailly, P. et al: Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup. Environ. Med.* 71: 514-522, 2014

Cruz, N.A.; Breuel, M.L.F.; Campilongo, M. Presbiacusia. In: Campos, CAH et al. Tratado de Otorrinolaringologia, 2002, vol. 2, 186-92

D'Andrea, J.A.; DeWitt, J.R.; Emmerson, R.Y.; Bailey, C.; Stensaas, S.; Gandhi, O.P. Intermittent exposure of rat to 2450-MHz microwaves at  $2.5\text{mW}=\text{cm}^2$ : behavioral and physiological effects. *Bioelectromagnetics* 1986, 7, 315–328

Davanipour, Z.; Tseng, C.C.; Lee, P.J.; Sobel, E. A case-control study of occupational magnetic field exposure and Alzheimer's disease: results from the California Alzheimer's Disease Diagnosis and Treatment Centers. *BMC Neurol.* 2007 Jun 9; 7: 13

De Lorge, J.; Ezell, C.S. Observing-responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves. *Bioelectromagnetics* 1980, 1, 183–198

DeWitt, J.R.; D'Andrea, J.A.; Emmerson, R.Y.; Gandhi, O.P. Behavioral effects of chronic exposure to  $0.5\text{mW}=\text{cm}^2$  of 2450-MHz microwaves. *Bioelectromagnetics* 1987, 8, 149–157

Di Carlo, A.; White, N.; Guo, F.; Garrett, P.; Litovitz, T. Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *J. Cell. Biochem.* 2002, 84, 447–454

Fedrowitz, M.; Kamino, K.; Loscher, W. Significant differences in the effects of magnetic field exposure on 7,12-dimethylbenz(a)anthracene induced mammary carcinogenesis in two substrains of Sprague-Dawley rats. *Cancer Res.* 2004, 64, 243–251

Fenech, M.; Crott, J.W. Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakagefusion-bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. *Mutat. Res.* 504 (2002) 131–136

Fenech, M.; Holland, N.; Chang, W.P; Zeiger, E.; Bonassi, S. The HUMAN Micro-Nucleus Project - an international collaborative study on the use of the micronucleus technique for measuring DNA damage in humans. *Mutat. Res.* 428 (1999) 271–283

Feychting, M.; Pedersen, N.L.; Svedberg, P.; Floderus, B.; Gatz, M. Dementia and occupational exposure to magnetic fields. *Scand. J. Work Environ. Health.* 1998 Feb; 24(1): 46-53

Frey, A.H.; Feld, S.R.; Frey, B. Neural function and behavior: defining the relationship. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1975, 247, 433–439

Glaser, R. Are thermoreceptors responsible for “non-thermal” effects of RF fields? *Edition Wissenschaft FGF 21*: 2-13; 2005.

Godinho, R.; Keogh, I.; Eavey, R. Perda Auditiva Genética. *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* V.69, n.1, 100-4, jan./fev. 2003

Ha, M.; Im, H.; Lee, M. et al. Radio-frequency radiation exposure from AM radio transmitters and childhood leukemia and brain cancer. *Am. J. Epidemiol.*, 2007, vol. 166 3(p. 270- 279)

Hamblin, D.L.; Wood, A.W.; Croft, R.J.; Stough, C. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on humane vent-related potentials and performance during an auditory task. *Clin. Neurophysiol.* 2004, 115, 171-178

Hardell, L.; Carlberg, M.; Söderqvist, F.; Hansson, K. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol.* 2013 Oct; 43(4): 1036–1044

Hug, K.; Rösli, M.; Rapp, R. Magnetic field exposure and neurodegenerative diseases--recent epidemiological studies. *Soz. Präventiv. med.* 2006; 51(4): 210-20

Hyppolito, M.A. Perdas auditivas condutivas. *Medicina (Ribeirão Preto)* 2005; 38 (3/4): 245-252

Johnson, R.B.; Spackman, D.; Crowley, J.; Thompson, D.; Chou, C.K.; Kunz, L.L.; Guy, A.W. Effects of Long-Term Low-Level Radiofrequency Radiation Exposure on Rats, Vol. 4. Open field Behavior and Corticosterone; Brooks AFB: San Antonio, TX, 1983; USAF SAM-TR83-42; Report of USAF School of Aerospace Medicine

Khalil, A.M.; Qassem, W. Cytogenetics effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes in vitro: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics. *Mutat. Res.* 1991; 247: 141-6

Khalil, S.; Nunez, D.A. Do mobile phones have a detrimental impact on auditory function? *The Journal of Laryngology & Otology* (2006), 120, 822–826

Khullar, S.; Sood, A.; Sood, S. Auditory Brainstem Responses and EMFs Generated by Mobile Phones. *Indian J. Otolaryngol. Head Neck Surg.* (December 2013) 65(Suppl 3): S645–S649

Koeman, T.; van den Brandt, P.A.; Slottje, P.; Schouten, L.J.; Goldbohm, R.A.; Kromhout, H.; Vermeulen, R. Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. *Cancer Causes Control.* 2014 Feb; 25(2): 203–14

Kues, H.A.; Monahan, J.C.; D'Anna, S.A.; McLeod, D.S.; Luty, G.A.; Koslov, S. Increased sensitivity of the non-human primate eye to microwave radiation following ophthalmic drug pretreatment. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 379–393

Lai, H.; Carino, M.A.; Horita, A.; Guy, A.W. Low-level microwave irradiation and central cholinergic systems. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 1989, 33, 131–138

Lai, H.; Carino, M.A.; Horita, A.; Guy, A.W. Single vs. repeated microwave exposure: effects on benzodiazepine receptors in the brain of the rat. *Bioelectromagnetics* 1992, 13, 57–66

Lai, H.; Horita, A.; Chou, C.K.; Guy, A.W. Effects of low-level microwave irradiation on hippocampal and frontal cortical choline uptake are classically conditionable. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 1987, 27, 635–639

Lai, H.; Horita, A.; Guy, A.W. Acute low-level microwave exposure and central cholinergic activity: studies on irradiation parameters. *Bioelectromagnetics* 1988, 9, 355–362

Lai, H.; Singh, N. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, n. 16 (1995), 207–210

Lamparelli, C.C.; Alesio Filho A., Hernandez, J.G. Radiações de Micro-ondas e Radiofrequência: Efeitos Biológicos. *CETESB de Tecnologia.* 1998: 2: 23-8

Lonn, S.; Ahlbom, A.; Hall, P.; Feychting, M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 2004; 15(6): 653–9

Lourencini da silva, R.; Albano, F. The effect of electromagnetic field exposure on the formation of DNA lesions. *Redox Report*, n. 5 (2000), 299–301



Mancinelli, F.; Caraglia, M.; Abbruzzese, A.; d'Ambrosio, G.; Massa R.; Bismuto, E. Non-thermal effects of electromagnetic fields at mobile phone frequency on the refolding of an intracellular protein: myoglobin. *J. Cell Biochem.* 93: 188-196; 2004

Meriç, F.; Dasdag, S.; Vergili, K. Do Radiofrequency Radiation Affect the Auditory System of People with Occupational Exposure? *Environmental Health and Preventive Medicine* 3, 55-58, April, 1998

Milham, S. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N. Engl. J. Med.* 1982, 307, 249

Miniti, A.; Bento, R.F.; Butugan, O. *Otorrinolaringologia clínica e cirúrgica*. Livraria Atheneu Editora. 1993

Moon, S.; Gyung Kim, B.; Kim, J.; Dae Lee, J.; Lee, W. Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol.* 2014 Jan; 35(1): 581–587

Morgan, L.L.; Miller, A.B.; Sascó, A.; Davis, D.L. Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A) (review). *Int J Oncol.* 2015 May;46(5):1865-71

Nudelmann, A. A. et al. *Pair – Perda Auditiva Induzida pelo Ruído: volume II*. Rio de Janeiro: Revinter, 2001

Oktay, M.F.; Dasdag, S. Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. *Electromagn. Biol. Med.* 2006; 25(1): 13-21

Oscar, K.J.; Hawkins, T.D. Microwave alteration of the blood-brain-barrier system of rats. *Brain Res.* 1977, 126, 281–293

Ozturan, O.; Erdem, T.; Miman, M.C.; Kalcioğlu, M.T.; Oncel, S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol.* 2002; 122: 289–293

Parazzini, M.; Brazzali, A.R.; Paglialonga, A. et al. Effects of GSM cellular phones on human hearing: the European Project “Guard”. *Radiat. Res.* 2007 168: 608-13

Phillips, J.L.; Ivaschuk, O.; Ishida-Jones, T.; Jones, R.A.; Campbell-Beachler, M.; Haggren, W. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1998, 45, 103–110

Qiu, C.; Fratiglioni, L.; Karp, A.; Winblad, B.; Bellander, T. Occupational exposure to electromagnetic fields and risk of Alzheimer's disease. *Epidemiology.* 2004 Nov; 15(6): 687-94

Rööslü, M.; Lörtscher, M.; Egger, M.; Pfluger, D.; Schreier, N.; Lörtscher, E.; Locher, P.; Spoerri, A.; Minder, C. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup. Environ. Med.* 2007 Aug; 64(8): 553-9

Rosin, M.P. The use of the micronucleus test on exfoliated cells to identify anticlastogenic action in humans: a biological marker for the efficacy of chemopreventive agents. *Mutat. Res.* 267 (1992) 265–276

Sanders, A.; Joines, W. The differential effect of 200, 591, and 2450 MHz radiation on rat brain energy metabolism. *Bioelectromagnetics*, n. 5, 1984b, 419–433

Savitz, D.A.; Ahlbom, A. Epidemiologic evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure, pp. 233-262. In *Biological effects of electric and magnetic fields 1994*, v.2. Academic Press, New York.

Sorahan, T.; Kheifets, L. Mortality from Alzheimer's, motor neuron and Parkinson's disease in relation to magnetic field exposure: findings from the study of UK electricity generation and transmission workers, 1973-2004. *Occup. Environ. Med.* 2007 Dec; 64(12): 820-6

Sorahan, T.; Nichols, L.; van Tongeren, M.; Harrington, J.M. Occupational exposure to magnetic fields relative to mortality from brain tumours: updated and revised findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occup. Environ. Med.* 2001 Oct; 58(10): 626-30

Szanto, C. Hearing Loss in Persons Occupationally Exposed to Radio Frequencies (RF) and Microwave (MW) Nonionizing Radiations. *Epidemiology: September 2007 - Volume 18 - Issue 5 - p S14*

Takashima, S.; Onaral, B.; Schwan, H.P. Effects of modulated RF energy on the EEG of mammalian brain. *Radiat. Environ. Biophys.* 1979, 16, 15–27

Tolbert, P.E.; Shy, C.M.; Allen, J.W. Micronuclei and other nuclear anomalies in buccal smears: methods development. *Mutat. Res.* 271 (1992) 69–77

Uloziene, I.; Uloza V.; Gradauskiene, E.; Saferis, V. Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health.* 2005; 5: 39

Vergara, X.; Kheifets, L.; Greenland, S.; Oksuzyan, S.; Cho, Y.S.; Mezei, G. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J. Occup. Environ. Med.* 2013 Feb; 55(2): 135-46

Zhao, J.; Sun, J.; Jia, Z.; Diao, M.; Liu, Y.; Tian, F. Analysis on outer hair cells hazards from occupational exposure to low frequency electric and magnetic fields and magnetic fields and its related factors. *Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* 2013 Nov; 27(22): 1247-51

### 3. ARTIGO 2 – A EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À CAMPO ELETROMAGNÉTICO NÃO IONIZANTE NA POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

#### RESUMO

As radiações eletromagnéticas são propagações de energia no espaço que ocorrem através da associação dos campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo. Elas são classificadas em função de sua frequência ou comprimento de onda, bem como dos efeitos de sua ação sobre elétrons que compõem os átomos. As exposições a este tipo de radiação sem controle podem levar à ocorrência de lesões ou doenças no trabalhador. Este trabalho teve como objetivo realizar a mensuração dos campos eletromagnéticos a que estão expostos os trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) no estado do Rio Grande do Sul e avaliar os possíveis danos biológicos causados pela exposição à radiação não ionizante por meio de exames clínicos e análises laboratoriais reconhecidos pela literatura científica vigente. Após a avaliação dos campos eletromagnéticos foi identificado, na função de motociclista, intensidade de campo eletromagnético (ICEM) acima do preconizado pelas normas internacionais. Os trabalhadores foram então avaliados por meio de questionário biopsicossocial e laboral, exame de audiometria e otoemissão e por meio do teste de micronúcleo celular. Após realização desta pesquisa não foi possível associar danos biológicos à exposição ocupacional aos campos eletromagnéticos não ionizantes. Entretanto, estudos nesta área devem prosperar, pois é necessário um maior número de sujeitos investigados, incluindo diferentes técnicas de investigação, e considerando tempos de exposição prolongados.

Palavras-chave: radiação eletromagnética, exposição ocupacional, radiação não ionizante, intensidade de campo eletromagnético, questionário, audiometria, otoemissão, teste de micronúcleo.

## ABSTRACT

Electromagnetic radiations are energy propagations in space that occur through the association of variable electric and magnetic fields over time. They are classified according to their frequency or wavelength, as well as the effects of their action on electrons which are parts of the atoms. Exposures to this type of radiation without control can lead to injuries or illness occurrence in the worker. The objective of this study was to measure the electromagnetic fields to which Federal Highway Police (FHP) workers exposed in the state of Rio Grande do Sul and to evaluate the possible biological damages caused by exposure to non-ionizing radiation through clinical and laboratory analyzes recognized by current scientific literature. After the evaluation of the electromagnetic fields, it was identified between motorcyclists, electromagnetic field intensity (EMFI) above of the preconized by international standards. The workers were then evaluated through a biopsychosocial and labor questionnaire, audiometry and otoemission examination, and through the cellular micronuclei test. After conducting this research, it was not possible to associate biological damage to occupational exposure to non-ionizing electromagnetic fields. However, studies in this area should thrive and more research subjects are needed, including different investigative techniques, and be considering long time of exposure.

Keywords: electromagnetic radiation, occupational exposure, non-ionizing radiation, electromagnetic field intensity, questionnaire, audiometry, otoemission, cellular micronuclei test.

### 3.1. INTRODUÇÃO

As radiações eletromagnéticas são propagações de energia no espaço que ocorrem através da associação dos campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo. Elas são classificadas em função de sua frequência ou comprimento de onda, bem como dos efeitos de sua ação sobre elétrons que compõem os átomos. Dependendo da quantidade de energia, uma radiação pode ser classificada em ionizante ou não ionizante. As ondas eletromagnéticas como a luz, calor e ondas de rádio, estão presentes no meio ambiente e são formas comuns de radiações não ionizantes. As Radiações não ionizantes possuem relativamente baixa energia, compreendem todas as radiações eletromagnéticas cuja energia por fótons seja inferior a 12 elétrons-volts, e caracterizam-se por não possuírem energia suficiente para ionizar os átomos ou moléculas com os quais interagem.

As exposições a este tipo de radiação sem controle podem levar à ocorrência de lesões ou doenças no trabalhador (CARPENTER, 2013). A relevância desta questão se iniciou na década de 80 após a identificação de alterações biológicas (SANDERS e JOINES, 1984(A)) as quais se intensificaram por estudos no meio científico para melhor compreensão dos danos biológicos potenciais como as alterações do DNA (LAI; SINGH, 1995).

Desde o início dos estudos referentes às interações das radiações não ionizantes e seus efeitos sobre a biologia dos seres vivos muitas dúvidas pairam pelo ar, em especial sobre suas reais interações. A dificuldade de se reproduzirem os dados científicos sobre radiação não ionizante e seus efeitos biológicos é uma constante devido à complexidade das interações entre os vários parâmetros da exposição. Os campos induzidos dentro do corpo são altamente não uniformes, pois variam de diversas formas e magnitudes nos locais ativos sem contar as diferenças de padrões de energia absorvida no corpo do organismo exposto às variadas frequências. Estas levam à obtenção de dados diversificados tanto mostrando diferentes frequências produzindo diferentes efeitos quanto efeitos diferentes sendo observados numa mesma frequência (SANDERS e JOINES, 1984(B)).

Por causa da proliferação da comunicação sem fio e dos equipamentos que utilizam esta tecnologia nos últimos anos, um grande número de pessoas está exposto a este espectro de onda constantemente no local de trabalho. Neste contexto, pode-se citar como exemplos: os profissionais eletricitas, que trabalham em alta tensão, os operadores de antena de rádio e de

radar, em centros de comando e controle (policiais militares e rodoviários), que realizam comunicação por meio de radiofrequência. Entretanto, existem poucos estudos voltados para área ocupacional que avaliaram os riscos potenciais à saúde dos trabalhadores, devido à exposição a campos eletromagnéticos, especialmente com relação à mensuração destes durante a jornada de trabalho. Embora o número diminuto de estudos, deve-se salientar que alguns deles sugerem que a exposição ocupacional a campos eletromagnéticos pode levar a estados demenciais (FEYCHTINGM et al., 1998). Outros estudos também indicam que esta exposição pode alterar a curva de aprendizado da atividade laborativa (CORBACIO et al., 2011). Além destes, a exposição ocupacional a campos eletromagnéticos de baixa frequência foi associada ao aumento de cefaleias, insônia e zumbido devido a alterações localizadas nas células ciliadas do ouvido (ZHAO et al., 2013).

Os estudos sobre a RCEM-RF, voltados à exposição ocupacional, geraram uma mistura de resultados; alguns mostrando não haver efeitos (SORAHAN et al., 2001) e outros indicando um aumento do risco de câncer do sistema nervoso central, leucemia, câncer de pulmão e doença de Hodgkin (KOEMAN et al., 2014; RÖÖSLI et al., 2007).

Com relação à exposição de RCEM-RF, os efeitos indesejáveis podem ser percebidos no complexo sistema auditivo. Assim que as tecnologias que utilizam radiação não ionizante se aproximaram da orelha, vários estudos foram realizados voltados para o sistema auditivo com o intuito de avaliar os possíveis efeitos causados pela exposição a CEM. Fora a percepção acústica associada ao calor induzido pelas ondas eletromagnéticas, os resultados dos estudos foram divergentes e esporádicos. MERIÇ et al., (1998) após avaliação da exposição ocupacional a CEM em termos de perda auditiva, identificaram incidência maior em frequência de 4 kHz que o grupo controle. SZANTO (2007) identificou em operadores de radar e um grupo controle expostos a ruído ocupacional a associação de índices elevados de CEM e a existência de perda auditiva nas frequências de 4, 6 e 8 kHz. Estudos mostram efeitos da exposição à RCEM-RF na atividade neural do nervo auditivo (HAMBLIN et al., 2004). Estudos transversais encontraram evidências de risco aumentado de neuroma do nervo acústico em usuários de telefone celular (LONN et al., 2004; HARDELL et al., 2013; MOON et al., 2014; MORGAN et al., 2015).

Alguns estudos levaram em consideração um baixo tempo de exposição, até 10 minutos (OZTURAN et al., 2002; ULOZIENE et al., 2005) e outros, um tempo maior foi avaliado (OKTAY e DASDAG, 2006). A maioria dos estudos não fornecem evidências suficientes que apoiem o fato de que efeitos de curto prazo de exposição à radiação de campo eletromagnético

do telefone celular possam alterar a função auditiva coclear ou do tronco encefálico (KHALIL e NUNEZ, 2006). A exposição à radiação não ionizante de telefones móveis não mostra efeitos na avaliação das medidas do limiar auditivo, otoemissões acústicas e do limiar de resposta de tronco encefálico para exposição menor que 10 minutos (PARAZZINI et al., 2007). Estudos mais recentes relatam não haver alterações mensuráveis em exames de resposta de ondas cerebrais auditivas a exposição por curto período de tempo (até 30 minutos por dia) por período de até 5 anos. Entretanto, a exposição continuada por período de até 10 anos pode aumentar a latência de ondas I e II representando comprometimento do trajeto periférico do nervo auditivo (KHULLAR et al., 2013).

Os efeitos indesejáveis da exposição à RCEM-RF no material genético (DNA) são importantes na investigação dos efeitos adversos sobre a saúde. Qualquer lesão primária irreparável ou reparada de forma errada no DNA, como quebras na cadeia simples ou dupla, pode levar a formação de aberrações dos cromossomos e mutações que podem levar a carcinogênese ou morte celular (KHALIL e QASSEM, 1991).

O dano no DNA em nível cromossômico é uma parte essencial da toxicologia genética, pois a mutação cromossômica é um importante evento na carcinogênese. Para avaliar o dano cromossômico surgiu o teste do micronúcleo (MN) como um dos métodos preferidos, pois possibilita que tanto a perda cromossômica quanto a ruptura do cromossomo sejam avaliados de forma morfológica. O micronúcleo se origina de fragmentos de cromossomos ou de todo um cromossomo que apresenta algum atraso na anáfase durante sua divisão celular (FENECH et al., 1999; FENECH e CROTT, 2002). Em humanos, o MN pode ser facilmente visualizados em eritrócitos, linfócitos e células esfoliativas epiteliais (ex. oral, urotelial, nasal) para se obter uma mensuração do dano induzido ao genoma *in vivo*. As células bucais são a primeira barreira de defesa contra agentes carcinogênicos inalados ou ingeridos, assim as células epiteliais orais são o sítio preferido para identificação de eventos iniciais de genotoxicidade adquiridos por estas vias (ROSIN, 1992).

Considerando o contexto explicitado, este trabalho tem por objetivo avaliar fatores relacionados com a exposição às radiações não ionizantes em atividades laborais que incluem em seu ambiente ocupacional a comunicação por meio de radiofrequência, bem como verificar eventuais alterações biológicas como: a perda auditiva e as lesões no DNA das células da mucosa oral. Para tal, serão considerados os profissionais que trabalham no policiamento rodoviário federal das estradas brasileiras. Estes estão expostos à radiação não ionizante proveniente de equipamentos inerentes às atividades laborais.



### 3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção são explicitados os procedimentos que foram necessários para a coleta de dados relativos aos fatores investigados na pesquisa, bem como os testes de análise e os sujeitos selecionados para o estudo.

A metodologia empregada neste estudo contemplou um protocolo de estudos que considerou a seleção de sujeitos voluntários expostos à radiação não ionizante, a mensuração da intensidade dos campos eletromagnéticos de exposição, bem como a aplicação de testes de audiometria e otoemissão e exames citológicos, para verificar os efeitos no corpo humano. Além disso, foi aplicado um questionário contemplando questões relativas às características inerentes à função, bem como busca de comorbidades e outros fatores contribuintes para as alterações relacionadas com a exposição a este tipo de radiação (Apêndice B).

### 3.3. SUJEITOS

Foram avaliados dois grupos de trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) que apresentavam exposição direta e indireta com radiação não ionizante. Foram coletados os dados de questionário, os exames audiométricos e as coletas de células da mucosa oral em dois dias separados com intervalo de 2 semanas, no primeiro houve comparecimento de quase a totalidade dos sujeitos e no segundo foram avaliados alguns remanescentes que não conseguiram comparecer ao primeiro dia de coletas. Dentre os diretamente expostos, foi investigado um grupo de trabalhadores que atuavam no Grupamento de Motociclistas Estadual (GME), haja vista a proximidade do corpo destes com os receptores e transmissores de ondas eletromagnéticas de alta frequência, no caso a radiação não ionizante de radiofrequência. No segundo grupo investigado foram avaliados os trabalhadores de setores administrativos da Polícia Rodoviária Federal, que não apresentavam contato direto com radiofrequência, com o intuito de avaliar se a exposição à radiação não ionizante apresentava diferenças nos resultados dos testes e exames realizados.

### 3.4. TESTES E EXAMES

#### 3.4.1. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Para a mensuração da intensidade do campo eletromagnético a que estão expostos os trabalhadores da PRF, foi utilizado um analisador de espectro manual marca Rohde e Schwarz modelo FSH4 de 100 kHz a 3,6 GHz. Posteriormente, foi utilizado medidor de radiação marca Narda modelo EMR – 300, com ponteiras E – FIELD 27 – 300 kHz, tipo 11.3 e E – FIELD 100 kHz – 3 GHz, tipo 18.0 (Figura 5). O primeiro serviu para a avaliação da qualidade do sinal de radiofrequência medindo a intensidade do campo eletromagnético e o segundo para mensuração da intensidade de campo eletromagnético existente nos locais analisados na PRF.

A coleta dos dados se deu em um único dia. Os valores foram medidos com o transceptor ativado e em modulação vocal, com um patrulheiro falando com outro dentro da garagem onde se localizam as motos da PRF. O campo eletromagnético foi medido em quatro pontos: nas costas do patrulheiro próximo à antena do bagageiro, na frente do patrulheiro próximo à antena do guidão, no interior e fora do capacete com o *Bluetooth* ativado, próximo 10 cm e junto da antena do transceptor portátil. Foram também mensurados os campos eletromagnéticos em salas e corredores do setor administrativo da PRF, respectivamente na área de trânsito e diretamente nos postos de trabalho administrativos. Os valores foram comparados aos preconizados pela International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Esta fornece orientações e cuidados relacionados aos riscos da exposição à radiação não ionizante para com a saúde. A ICNIRP estabeleceu os princípios da proteção para as radiações não ionizantes formulando programas de proteção em níveis nacionais e internacionais.



Figura 5: Analisador de espectro marca Rohde e Schwarz (a) e medidor de radiação marca Narda modelo EMR – 300 (b)

### 3.4.2. PERDA AUDITIVA

Para a mensuração da perda auditiva nos trabalhadores da PRF foi realizada audiometria ocupacional tonal limiar, com o audiômetro da marca Inventis, modelo Harp (Figura 6), conforme preconizado pela Portaria nº 19/98 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. Esta portaria estabelece as Diretrizes e Parâmetros Mínimos para Avaliação e Acompanhamento da Audição em Trabalhadores Expostos a Níveis de Pressão Sonora Elevados – Anexo I do quadro II, Norma Regulamentadora nº 7 do Ministério do Trabalho e do Emprego. O exame de otoemissão acústica foi realizado com o equipamento de marca Interacoustics, modelo Titan (Figura 7). Foi realizada otoscopia por médico com capacitação em otorrinolaringologia para identificação de qualquer patologia da orelha externa ou orelha média, que pudesse afetar a coleta das medidas audiométricas.



Figura 6: Audiômetro Inventis modelo Harp



Figura 7: Otoemissor Interacoustics modelo Titan

A realização dos exames audiométricos se deu na mesma data em que foram realizadas as coletas de células da mucosa oral para avaliação de núcleo celular e da realização do questionário referente à pesquisa (ambos detalhados na sequência). O tipo de perda auditiva em análise nos exames levou em consideração a classificação sugerida por Silman e Silverman (1997) (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação de perda auditiva adaptada de Silman e Silverman (1997)

<b>TIPO DE PERDA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Perda Auditiva Condutiva</b>	Limiars de via óssea menores ou iguais a 15 dB(A) e limiars de via aérea maiores do que 25 dB(A), com gap aéreo-ósseo maior ou igual a 15 dB.
<b>Perda Auditiva Neurossensorial ou Sensório neural</b>	Limiars de via óssea maiores do que 15 dB(A) e limiars de via aérea maiores do que 25 dB(A), com gap aéreo ósseo de até 10 dB.
<b>Perda Auditiva Mista</b>	Limiars de via óssea maiores do que 15 dB(A) e limiars de via aérea maiores do que 25 dB(A), com gap aéreo ósseo maior ou igual a 15 dB.

Referente ao exame de Otoemissão foi realizado com aparelho que utiliza o estímulo de clique não-linear, que ocorre predominantemente na faixa de frequências entre 1.000 a 4.000 Hz, com intensidade de 64 dB de nível de pressão sonora. O critério de análise das emissões foi relação sinal/ruído de 6 dB SNR em 4 de 5 bandas de frequência testadas. Foram utilizados 260 *sweeps* de 16 estímulos apresentados, o tempo de teste máximo foi de 300 segundos; e as bandas de frequência de registro do aparelho foram: 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 e 4,0 kHz. Os parâmetros utilizados para considerar presença de respostas foram: reprodutibilidade acima de 50%, bem como a relação sinal ruído (> que 3 dB em 1,0 e 1,5 kHz; e > 6 dB em 2,0; 3,0 e 4,0 kHz). Foi utilizado o protocolo passa-falha em três bandas de frequência. Este protocolo serve para indicar quando as células ciliadas da cóclea são estimuladas e produzem um efeito que pode ser detectado pelo aparelho de estímulo, ou seja, as otoemissões estão presentes (passa). Caso haja dano nas células ciliadas externas da orelha interna produzindo uma perda leve, as emissões otoacústicas poderão não estar presentes (falha) significando que o paciente corre risco de possíveis alteração na orelha e que possa se beneficiar de uma avaliação diagnóstica mais aprofundada (CÔRTEZ-ANDRADE et al., 2013).

### 3.4.3. DANO CELULAR

Para a avaliação de dano celular causado pelo campo eletromagnético foi utilizado o teste de micronúcleo em células esfoliativas da mucosa oral, que permite acesso a um tipo de célula de rápida replicação *in vivo*. Trata-se de uma técnica minimamente invasiva e de fácil acesso, sem a uma transposição importante de barreiras celulares, ou de dano maior ao organismo quando da coleta do material.

A coleta de material foi realizada junto com aplicação do questionário e os exames de audição. A preparação das amostras foi feita por meio de coleta de células com escova citológica, com o material obtido junto à mucosa interna das bochechas. Foram coletadas duas amostras de células de mucosa oral da região jugal direita e duas amostras de mucosa jugal esquerda, sendo uma para reserva e outra para a devida análise de cada lado. As amostras foram colocadas em solução de álcool absoluto 96° até a data da realização da técnica de micro densitometria de Feulgen.

O método de Feulgen consiste na ligação específica do DNA ao corante Feulgen (ou reagente de Schiff), descrita em 1924 por Feulgen & Rössenbeck (BENNET e SMITH, 1976). É realizado preparo das células esfoliativas por meio de uma imersão em álcool absoluto por três minutos; uma imersão em álcool 96° por três minutos; duas imersões em água destilada; hidrólise com HCL 5M em câmara úmida por cinquenta minutos a 22° Celsius; duas imersões em água destilada; uma imersão em reagente de *Shiff* por 60 minutos a temperatura ambiente; duas imersões em solução de metabissulfito de sódio (5 ml solução de metabissulfito de sódio concentrada 10%, 95 ml de água destilada, mais 1 ml de HCL 5M) por dois minutos cada; duas imersões em água destilada; uma imersão em álcool 96° por um minuto; duas imersões em álcool absoluto por 1 minuto cada; duas imersões em Xilol por dez minutos cada e, posteriormente, a montagem da lâmina<sup>1</sup>.

A análise citológica foi realizada sob microscopia óptica, com cegamento do pesquisador em relação aos dados obtidos no questionário prévio. Um total de 2000 células por indivíduo foi analisado considerando ambas as bochechas. Os critérios descritos por SARTO et al. (1990) foram adotados para identificação dos MNs. Assim, foram considerados MNs estruturas citoplasmáticas morfologicamente similares ao núcleo com até 1/3 do tamanho deste

---

<sup>1</sup> adaptada de coloração microscópica de DNA de Feulgen da MERCK KGaA

e visualizadas no mesmo plano. Alterações nucleares degenerativas indicativas de apoptose (cariorrexe cromatina condensada e picnose) e necrose (cariólise) também foram quantificadas.

#### 3.4.4. QUESTIONÁRIO BIOPSISSOCIAL E LABORAL

Foi aplicado um questionário aberto direto e assistido com 56 perguntas, cujo objetivo era a identificação das características próprias dos trabalhadores, bem como seu estilo de vida, suas funções e exposição à radiação não ionizante no ambiente de trabalho da PRF. Também foram questionadas possíveis patologias e fatores (por exemplo, aftas orais, neoplasias de mucosa oral, tabagismo e ingestão de álcool na boca; e exposição ao ruído, traumas crânio encefálico, ingestão de carnes, etc.) que pudessem comprometer os resultados dos exames realizados.

Cada trabalhador foi entrevistado individualmente no mesmo dia e no momento anterior à realização da coleta das células esfoliativas de mucosa oral e dos exames audiométricos. A entrevista foi realizada após assinatura do termo de consentimento informado da pesquisa e teve uma duração aproximada de 15 minutos (Apêndice A).

#### 3.5. ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção são analisados os dados relativos aos fatores investigados na pesquisa, os testes realizados, bem como descritos as características dos sujeitos selecionados para o estudo.

As variáveis quantitativas com distribuição normal foram descritas por média e desvio padrão, as com distribuição assimétrica foram descritas por mediana, percentil 25 (P25) e percentil 75 (P75); as variáveis categóricas foram descritas como frequências simples (n) e relativas (%).

Para verificar diferença de médias entre os grupos foi utilizado o teste t de Student, ou ainda o teste de Mann-Whitney de acordo com a distribuição das variáveis. A associação entre variáveis categóricas foi avaliada através do teste exato de Fisher. Para verificar diferenças de médias considerando os fatores, grupo e lado (direito ou esquerdo) foi utilizada análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas, incluindo teste de interação entre os fatores grupo e lado.

Para todas as análises, foi considerado um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas no programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 18.0 (SPSS INC., IBM Company, Chicago, EUA).

### 3.6. RESULTADOS

Nesta seção são descritos os resultados obtidos pelo estudo e pela aplicação dos testes e questionário.

#### 3.6.1. CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES

O grupo de motociclistas estadual (GME) é a unidade responsável por orientar, supervisionar e executar ações de escolta, batedor e patrulhamento rodoviário com uso de motocicletas, bem como auxiliar a seção de policiamento e fiscalização (SPF) e as chefias das Delegacias na implantação e funcionamento dos Grupos de Motociclismo (GM), além de executar as atividades de motociclismo, incluindo escolta, serviço de batedor, patrulhamento rodoviário e fiscalização, seguindo as normas e diretrizes no âmbito das Regionais; promover, desenvolver e divulgar as atividades de motociclismo na Regional; promover rotinas de treinamento físico e operacional de acordo com regulamento específico; auxiliar a Seção de Policiamento e Fiscalização/Núcleo de Policiamento e Fiscalização (SPF/NPF) na supervisão e execução das atividades relativas ao patrulhamento rodoviário, fiscalização de trânsito, atendimento e levantamento de locais de acidentes e auxílio a usuários com o uso de motocicletas; participar da elaboração e auxiliar nas atividades operacionais do motociclismo no âmbito das Delegacias; auxiliar a SPF e as chefias de Delegacias na implantação dos GM, estimulando as delegacias para a manutenção dessa atividade; subsidiar com informações e sugestões as áreas competentes quando da distribuição e remanejamento de viaturas tipo motocicleta policial, bem como equipamentos voltados ao motociclismo, no âmbito da Regional; propor, quando necessário, às áreas competentes, orçamento extraordinário para atender às necessidades dos grupos de motociclistas, quanto à manutenção e conservação das viaturas e equipamentos, em operações regionais; consolidar e encaminhar os relatórios de atividades, no prazo determinado pela SPF; manter atualizado banco de dados com o cadastro



de motociclistas, motocicletas e equipamentos, no âmbito da regional; subsidiar a área responsável pela aquisição de equipamentos e demais materiais relacionados ao motociclismo; propor às áreas afetas cursos periódicos de atualização e capacitação, buscando o contínuo aprimoramento técnico dos motociclistas da regional; propor à SPF/NPF a aprovação dos cronogramas de atividades a serem desenvolvidas pelos grupos de motociclistas; auxiliar a SPF/NPF na supervisão, convocação de motociclistas, distribuição de equipamentos e na execução de operações de caráter regional; controlar a utilização e a circulação da frota de veículos sob sua carga, promovendo a revisão periódica, a manutenção preventiva e a conservação dos veículos.

No caso dos motociclistas da PRF, estes utilizam equipamentos de telecomunicação instalados em carros, motos, capacetes e estações fixas localizadas ao longo das rodovias. Alguns aparelhos utilizam modulação analógica e/ou digital e os capacetes utilizam *Bluetooth*.

Já as atividades do setor administrativo são consideradas atividades básicas do posto como auxiliar as atividades administrativas nas Seções/Núcleos, transformando a linguagem oral em escrita; revisar textos e documentos; manter organizado as atividades gerais da área e auxiliar o seu desenvolvimento; encaminhar demandas a outros serviços terceirizados; redigir textos, documentos oficiais e comunicar-se, oralmente e por escrito. Demais atribuições: Realizar anotações dos compromissos e reuniões em agenda; minutar correspondências para aprovação superior; atender a chamados telefônicos internos e externos; controlar o recebimento de volumes, correspondências e outros expedientes (inclusive em meio digital); acompanhar e realizar trabalhos de classificação, codificação, e catalogação de papéis e documentos; operar máquinas simples de reprodução de documentos, telefones e fac-símile e outros; executar as demais atividades inerentes ao cargo e necessárias ao bom desempenho do trabalho, dentre outras.

Os trabalhadores do setor administrativo não têm exposição direta a transceptores de radiofrequência. No local de trabalho estão expostos a aparelhos eletrônicos comumente utilizados em lugares onde é feita a gestão administrativa de instituições como a PRF, tais como: aparelhos telefônicos sem fio, computadores, transceptores de Wi-fi e telefones celulares. Embora não estejam expostos diretamente aos transceptores os trabalhadores transitam por locais onde podem estar presentes CEM como a garagem onde se localizam as viaturas e a sala de controle.

### 3.6.2. SUJEITOS

Como sujeitos submetidos a esta pesquisa foram analisados homens e mulheres entre a segunda e quinta décadas de vida com predomínio significativo de homens (14:4). A Tabela 2 ilustra os dados obtidos quanto às características biométricas e laborais da amostra.

Tabela 2: Resultado da análise das características de gênero, cor de pele e dominância dos sujeitos

Variável	Setor na PRF		p
	Moto (n=8)	Adm (n=10)	
<b>Sexo</b>			
<b>Masculino</b>	8 (100%)	6 (60%)	0,092
<b>Feminino</b>	0 (0,0)	4 (40%)	
<b>Cor de pele</b>			
<b>Branco</b>	7 (87,5%)	8 (80%)	1,000
<b>Preto</b>	1 (12,5%)	2 (20%)	
<b>Mão dominante</b>			
<b>Direita</b>	7 (87,5%)	8 (80%)	1,000
<b>Esquerda</b>	1 (12,5%)	2 (20%)	

Dados apresentados como n(%). Valor p para o teste exato de Fisher. (Moto) motociclista; (Adm) administrativo.

### 3.6.3. MENSURAÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNETICOS

Grande parte das motos possuem duas antenas tipo monopolo, uma para o sistema analógico (46 MHz) e outra para o sistema digital (entre 380 e 400 MHz) e que estão instaladas na parte traseira da moto a aproximadamente 25 centímetros das costas do motorista. As motos adquiridas mais recentemente possuem uma antena, para o sistema digital, também monopolo e instaladas junto ao guidão da moto. Em todos os casos citados os transceptores ficam instalados nos bagageiros ou quando pequenos nos guidões das motos.

Em operação o piloto da moto utiliza capacete sendo que este possui um sistema *Bluetooth*, que dispensa o uso de microfone para acionar o transceptor analógico ou digital. O

operador relatou que pode passar praticamente todo o dia usando o capacete, sendo que este sistema *Bluetooth* fica permanentemente ligado, mesmo quando não há comunicação pelos transceptores.

A Tabela 3 ilustra os valores encontrados nas medições realizadas na PRF e o valor de intensidade de campo elétrico (ICEM) indicado pela ICNIRP como seguro para exposição aos trabalhadores e ao público em geral.

Tabela 3: Resultados da análise da intensidade de campo medida no ambiente laboral e intensidade indicada pela ICNIRP para 380 – 400 MHz.

	<b>Descrição</b>	<b>ICEM (V/m)</b>
<b>ICNIRP (380 - 400 MHz)</b>	Exposição Ocupacional	61
	Exp. Público em Geral	28
<b>LOCAL DA MEDICÃO</b>	Corredores e Salas Administrativas	1
	Antena Bagageiro (A)	45
	Antena Bagageiro (D)	12
	Antena Guidão (D)	15 - 25
	Interior Capacete (B)	12
	Exterior Capacete (B)	14
	Antena Monopolo Transceptor Portátil (D) (10 cm de distância)	300
	Antena Monopolo Transceptor Portátil (D)	500

(A) analógico; (D) digital; (B) *Bluetooth*; (Moto) motociclista; (Adm) administrativo.

#### 3.6.4. PERDA AUDITIVA

A perda auditiva foi mensurada, assim como a realização do exame de otoemissão acústica de acordo com a Portaria nº 19/98 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. Os resultados são mostrados nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 4: Resultado da análise de dados audiométricos qualitativos dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas

Variável	Setor na PRF		P
	Moto (n=8)	Adm (n=10)	
<b>Audiometria</b>			
<b>Normal</b>	7 (87,5%)	9 (90%)	1,000
<b>Alterada</b>	1 (12,5%)	1 (10%)	
<b>Otoemissão</b>			
<b>Normal</b>	6 (75%)	10 (100%)	0,183
<b>Alterada</b>	2 (25%)	0 (0,0)	

Dados apresentados como n(%). Valor p para o teste exato de Fisher. (Moto) motociclista; (Adm) administrativo.

De acordo com os testes audiométricos, foi identificada somente uma perda auditiva do tipo neurosensorial maior que 25 (dBNA) em frequência de 6kHz na orelha direita do sujeito 1 do grupo de motociclistas. O valor verificado foi constatado somente em uma única frequência, sem ter sido também verificada alterações na média de altas frequências. Fato que pode estar relacionado com algum procedimento no teste, ou mesmo a fatores intrínsecos ao sujeito verificado no questionário biopsicossocial e laboral, como tabagismo com carga tabágica de 11 anos-maço, atividade laboral em ambiente ruidoso por 22 anos, perda auditiva genérica familiar, uso de arma de fogo próximo a orelha direita por 7 anos.

Tabela 5: Resultados das audiometrias dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas (orelha direita)

<b>ORELHA DIREITA (dBNA)</b>									
	<b>Sujeito</b>	<b>0,5kHz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>3kHz</b>	<b>4kHz</b>	<b>6kHz</b>	<b>VMG</b>	<b>VMA</b>
<b>Motociclista</b>	1	10	5	10	10	15	<b>30*</b>	8,33	18,33
	2	5	5	0	0	10	10	3,33	6,67
	3	10	5	0	0	5	0	5,00	1,67
	4	10	10	5	5	10	10	8,33	8,33
	5	20	15	5	10	15	15	13,33	13,33
	6	5	5	10	5	15	5	6,67	8,33
	7	10	5	5	5	0	-5	6,67	0,00
	8	0	0	-5	-5	5	10	-1,67	3,33
<b>Administrativo</b>	1	20	5	5	0	-5	5	10,00	0,00
	2	10	10	15	10	15	10	11,67	11,67
	3	15	10	15	20	25	25	13,33	23,33
	4	-5	0	0	0	0	0	-1,67	0,00
	5	5	10	10	5	5	0	8,33	3,33
	6	10	10	10	5	0	10	10,00	5,00
	7	5	5	10	10	5	5	6,67	6,67
	8	10	10	10	15	10	10	10,00	11,67
	9	0	0	5	15	20	20	1,67	18,33
	10	5	0	-5	-5	5	10	0,00	3,33

VMG: Valor Médio em Baixas Frequências; VMA: Valor Médio em Altas Frequências

Da mesma forma, os testes audiométricos permitiram identificar somente uma perda auditiva do tipo neurosensorial maior que 25 (dBNA) em frequência de 6kHz na orelha esquerda do sujeito 3 do grupo de trabalhadores do setor administrativo. Neste caso, foi também verificado que a média das frequências mais elevadas indicaram também um valor superior a 25 (dBNA) preconizado pela Portaria nº 19/98 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. Esta constatação pode estar relacionada a fatores intrínsecos ao sujeito verificado no questionário biopsicossocial e laboral como, a presbiacusia devido a idade avançada de 57 anos de vida, o tabagismo prévio com carga tabágica de 20 anos-maço, atividade laboral em ambiente ruidoso por 17 anos, perda auditiva genética familiar, uso de arma de fogo por 10 anos ou ainda por comorbidades associadas como a hipertensão arterial sistêmica.

Tabela 6: Resultados das audiometrias dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas (orelha esquerda)

<b>ORELHA ESQUERDA (dBNA)</b>									
	<b>Sujeito</b>	<b>0,5kHz</b>	<b>1kHz</b>	<b>2kHz</b>	<b>3kHz</b>	<b>4kHz</b>	<b>6kHz</b>	<b>VMG</b>	<b>VMA</b>
<b>Motociclista</b>	1	10	10	5	5	5	10	8,33	6,67
	2	5	0	0	0	5	0	1,67	1,67
	3	10	5	0	5	5	10	5,00	6,67
	4	5	0	-5	10	10	5	0,00	8,33
	5	10	5	5	5	5	10	6,67	6,67
	6	5	5	5	10	10	10	5,00	10,00
	7	5	5	10	10	15	5	6,67	10,00
	8	0	0	-5	0	0	10	-1,67	3,33
<b>Administrativo</b>	1	20	0	5	10	5	0	8,33	5,00
	2	10	5	5	5	5	15	6,67	8,33
	3	15	15	20	25	25	<b>45*</b>	16,67	<b>31,67*</b>
	4	5	5	0	-5	0	5	3,33	0,00
	5	5	5	10	10	5	15	6,67	10,00
	6	5	5	5	10	5	0	5,00	5,00
	7	10	10	5	10	5	0	8,33	5,00
	8	10	5	0	10	10	10	5,00	10,00
	9	5	0	5	20	25	15	3,33	20,00
	10	0	0	0	0	10	10	0,00	6,67

VMG: Valor Médio em Baixas Frequências; VMA: Valor Médio em Altas Frequências

No que diz respeito à otoemissão acústica observou-se que houve falhas em dois sujeitos motociclistas em orelhas diferentes. O sujeito 1 teve protocolo alterado tipo falha na orelha esquerda e o sujeito 5 apresentou falha na orelha direita. Estes resultados indicam que as células ciliadas externas da orelha interna apresentam alterações, e que são necessárias investigações mais aprofundadas para verificar as causas destas falhas ao exame de otoemissão.

Tabela 7: Resultados das otoemissões acústicas dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas

	Sujeito	ORELHA DIREITA						ORELHA ESQUERDA					
		1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz		1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	
<b>Motociclista</b>	1	26	35	28	15	24	P	24	27	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>F*</b>
	2	9	20	25	24	17	P	14	15	14	6	8	P
	3	30	28	24	29	23	P	12	16	21	23	13	P
	4	17	26	17	25	12	P	18	24	22	17	11	P
	5	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>F*</b>	33	25	19	26	17	P
	6	17	14	15	9	7	P	23	19	7	13	11	P
	7	15	27	20	17	19	P	20	19	18	20	14	P
	8	33	38	34	32	17	P	22	21	15	15	9	P
<b>Administrativo</b>	1	17	23	18	17	18	P	15	25	18	14	16	P
	2	24	32	21	14	23	P	22	22	18	21	15	P
	3	11	13	11	13	11	P	9	15	12	5	7	P
	4	11	13	10	18	14	P	20	21	19	13	18	P
	5	12	15	9	8	9	P	14	16	20	27	20	P
	6	23	31	25	17	21	P	28	27	25	14	20	P
	7	10	15	11	9	11	P	10	11	8	6	9	P
	8	30	34	30	22	21	P	22	30	22	12	16	P
	9	12	24	9	8	7	P	21	16	14	6	3	P
	10	32	26	28	20	21	P	29	34	32	31	20	P

(P) passa; (F) falha

### 3.6.5. DANO CELULAR

Os resultados das degenerações celulares encontradas sob microscopia ótica estão apresentados na Tabela 8. Previamente ao início da avaliação dos esfregações corados pelo método de Feulgen foi realizada a calibragem do examinador com dentista doutoranda em patologia, especialista na análise de alterações de núcleo celular, obtendo-se um teste Kappa com índice próximo a 1. Estes dados são provenientes da análise individualizada de 1000 células em cada lado da mucosa jugal direita (D) e esquerda (E) e dos dois lados em conjunto (D + E) num total de 2000 células esfoliativas de mucosa oral em cada sujeito. Os dados apresentados indicaram que, quando analisado somente um lado da mucosa, houve uma média de MN para 1000 células esfoliativas dentro do considerado normal para indivíduos saudáveis, não expostos a agentes químicos genotóxicos ou à radiação, embora exista indivíduo que apresente número de MN acima do normal. Também quando levada em consideração toda a mucosa, dos dois lados, a média de MN para 1000 células esfoliativas também se encontra

normal para indivíduos saudáveis, não expostos a agentes químicos genotóxicos ou à radiação, embora exista indivíduo que apresente número de MN acima do normal.

Tabela 8: Resultado da análise das características, das atividades e das degenerações celulares em cada bochecha e em ambos os lados dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas

	<b>n</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>DP</b>	<b>P25</b>	<b>P75</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Idade</b>	18	39,6	38,0	8,26	34,0	44,5	29,0	57,0
<b>Peso</b>	18	80,3	82,0	12,62	72,3	90,0	54,0	100,0
<b>Altura</b>	18	1,75	1,75	0,08	1,70	1,82	1,62	1,91
<b>Tempo no setor (anos)</b>	18	3,4	2,4	4,09	0,9	3,8	0,1	17,0
<b>MN D</b>	18	0,6	0,0	0,78	0,0	1,0	0,0	2,0
<b>MN E</b>	18	0,3	0,0	0,59	0,0	1,0	0,0	2,0
<b>MN D+E</b>	18	0,4	0,3	0,57	0,0	0,6	0,0	1,5

(MN) micronúcleo

### 3.6.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS COLETADOS

O questionário sobre o estilo de vida geral e sobre as condições de exposição consistiu em questões abertas totalizando 56 questões. Estas foram divididas em características pessoais, histórico familiar, suas funções e exposição à radiação não ionizante no ambiente de trabalho da PRF, comorbidades, etc. (Apêndice B). O objetivo destas questões foi analisar a provável existência de correlações entre outros fatores observados e intrínsecos dos sujeitos (ex. mão dominante, cor de pele, carga tabágica, etc.) e fatores medidos na atividade de trabalho dos policiais rodoviários (audiometria, campo eletromagnético, etc.).

Pela análise estatística dos dados não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de estudo no que se refere ao gênero, cor de pele, dominância da mão, alteração em audiometria e otoemissão. No que tange às características biométricas dos grupos foi identificada diferença com significância estatística entre os grupos quanto ao peso ( $p < 0,05$ ) e altura ( $p < 0,01$ ) com intervalo de confiança (P) de 0,012 e 0,004 respectivamente (Tabela 9).



Tabela 9: Resultado da análise das características das atividades dos sujeitos do setor administrativo e motociclistas

Variável	Setor na PRF														P
	Moto (n=8)							Adm (n=10)							
	M	m	DP	P25	P75	Mín.	Máx.	M	m	DP	P25	P75	Mín.	Máx.	
<b>Idade</b>	40,8	39,5	6,86	36,3	43,0	34,0	56,0	38,7	34,5	9,50	31,5	47,3	29,0	57,0	0,616 (t)
<b>Peso</b>	88,3	89,5	8,70	85,0	92,8	70,0	100,0	74,0	78,0	11,91	61,3	81,5	54,0	90,0	<b>0,012</b> *(t)
<b>Altura</b>	1,81	1,82	0,06	1,78	1,83	1,70	1,91	1,71	1,72	0,06	1,64	1,75	1,62	1,83	<b>0,004</b> ***(t)
<b>Tempo no Setor (anos)</b>	5,0	2,5	5,59	1,5	7,8	0,1	17,0	2,1	2,1	1,77	0,6	3,0	0,1	6,0	0,247 (M-W)

Valor p para teste t de Student (t); Valor p para teste de Mann-Whitney (M-W).  
(M) média; (m) mediana; (DP) desvio padrão; (Moto) motociclista; (Adm) administrativo.

Quanto ao tempo de exposição no setor respectivo do grupo em análise foi utilizado o teste de Mann-Whitney devido à amostra ser pequena e a variável numérica não apresentar sabidamente uma variação normal. Com base na análise, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (Tabela 9), mesmo tendo sido identificados valores de intensidade de campo eletromagnético (próximo e junto aos transceptores portáteis entre os motociclistas) respectivamente 300 e 500 V/m, valores estes acima dos preconizados pela ICNIRP, que recomenda 61 V/m para exposição ocupacional com frequência entre 380 a 400 MHz.

Para a avaliação das degenerações celulares foi utilizado o teste ANOVA para análise de variância com o objetivo de identificar se havia diferença de distribuição entre os grupos em análise. Foram avaliadas degenerações celulares na mucosa jugal, sendo mensuradas isoladamente à direita e à esquerda com 1000 células em cada lado e também agrupadas totalizando 2000 células analisadas por indivíduo. Foram levadas em consideração as alterações de micronúcleo sendo encontrado valor acima do normal em ambos os lados individualmente e somando-se os lados nos dois grupos estudados (Tabela 8). Ao se comparar a ocorrência de micronúcleo e os setores analisados não foram verificadas alterações significativas com (P) de 0,721. A comparação da ocorrência de MN entre a mucosa jugal do lado direito e a do lado esquerdo também não apresentou alteração significativa entre os setores com um (P) de 0,311. Ao se comprar a ocorrência de micronúcleo com o setor e lado em análise também não houve alterações significativas com (P) de 0,311.

Tabela 10: Resultado da análise da degeneração do núcleo celular das células esfoliativas da mucosa oral do lado direito e esquerdo entre os sujeitos do setor administrativo e motociclistas

	Setor na PRF								P setor	P lado	P setor*lado
	Moto (n=8)				Adm (n=10)						
	Direito		Esquerdo		Direito		Esquerdo				
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP			
<b>MN</b>	0,5	0,76	0,5	0,76	0,6	0,84	0,2	0,42	0,721	0,311	0,311

Valor p para ANOVA de medidas repetidas ; (MN) micronúcleo; (DP) desvio padrão; (Moto) motociclista; (Adm) administrativo; P setor (Motociclista x Administrativo); P lado (Motociclista lado Direito e Administrativo lado Direito x Motociclista lado Esquerdo e Administrativo lado Esquerdo); P setor\*lado (Motociclista lado Direito x Administrativo lado Direito x Motociclista lado Esquerdo x Administrativo lado Esquerdo).

### 3.7. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral realizar a mensuração dos campos eletromagnéticos a que estão expostos os trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) e avaliar os possíveis danos biológicos causados pela exposição à radiação não ionizante por meio de exames clínicos e análises laboratoriais reconhecidos pela literatura científica vigente.

Após a avaliação dos campos eletromagnéticos nas funções de motociclista e administrativo foi encontrado um valor de ICEM no posto de trabalho dos motociclistas acima do preconizado pela *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP). Em sendo identificada exposição ocupacional a campo eletromagnético acima do recomendado foram analisados os sujeitos atuantes na PRF nos seus postos de trabalho. Os trabalhadores foram avaliados por meio de exame de audiometria e otoemissão com o intuito de buscar alguma alteração biológica do sistema auditivo relacionada a este tipo de radiação. Entretanto, não se pôde atribuir as alterações audiométricas identificadas às atividades desenvolvidas na PRF e aos níveis elevados de ICEM.

Foi também realizada a investigação de alterações no DNA de células da mucosa oral por meio do teste de micronúcleo celular no qual tenta-se identificar algum dano em nível cromossômico que possa estar relacionado à exposição a radiação não ionizante de radiofrequência. Neste caso, os resultados indicaram um número maior de MN do que o esperado para indivíduos saudáveis, não expostos a agentes químicos genotóxicos ou à radiação.

Após realização desta pesquisa não foi possível associar danos biológicos à exposição ocupacional aos campos eletromagnéticos não ionizantes. Entretanto, estudos nesta área devem prosperar, pois é necessário um maior número de sujeitos investigados, incluindo diferentes técnicas de investigação.

Deve ser levado em conta também que o tempo de exposição a este tipo de radiação é importante para o desfecho dos estudos e observação das alterações biológicas. Logo, o caráter longitudinal dos estudos torna-se preponderante evidenciando a necessidade de um maior tempo de seguimento dos sujeitos expostos.

## REFERÊNCIAS

Bennet, M.D., Smith, J.B. Nuclear DNA amounts in angiosperms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, London, v.274, p.227-274, 1976

Corbacio, M.; Brown, S.; Dubois, S.; Goulet, D.; Prato, F.S.; Thomas, A.W.; Legros, A. Human cognitive performance in a 3 mT power-line frequency magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 2011 Dec; 32(8): 620-33

Côrtes-andrade, I. F.; Bento, D. V.; Lewis, D. R. Emissões otoacústicas evocadas por estímulo transiente: protocolos de triagem auditiva neonatal. *Rev. CEFAC*, Jun 2013, v.15, n.3, p.521-527, 2013

Carpenter, D.O. Human disease resulting from exposure to electromagnetic fields. *Rev. Environ. Health* 2013; 28(4): 159–172

Fenech, M.; Crott, J.W. Micronuclei, nucleoplasmic bridges and nuclear buds induced in folic acid deficient human lymphocytes-evidence for breakagefusion-bridge cycles in the cytokinesis-block micronucleus assay. *Mutat. Res.* 504 (2002) 131–136

Fenech, M.; Holland, N.; Chang, W.P.; Zeiger, E.; Bonassi, S. The HUMAN Micro-Nucleus Project - an international collaborative study on the use of the micronucleus technique for measuring DNA damage in humans, *Mutat. Res.* 428 (1999) 271–283

Feychting, M.; Pedersen, N.L.; Svedberg, P.; Floderus, B.; Gatz, M. Dementia and occupational exposure to magnetic fields. *Scand. J. Work Environ. Health*. 1998 Feb; 24(1): 46-53

Hamblin, D.L.; Wood, A.W.; Croft, R.J.; Stough, C. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on humane vent-related potentials and performance during an auditory task. *Clin. Neurophysiol*. 2004, 1 15, 171-178

Hardell, L.; Carlberg, M.; Söderqvist, F.; Hansson, K. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol*. 2013 Oct; 43(4): 1036–1044

Khalil, A.M.; Qassem, W. Cytogenetics effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes in vitro: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics. *Mutat. Res*. 1991; 247: 141-6

Khalil, S.; Nunez, D.A. Do mobile phones have a detrimental impact on auditory function? *The Journal of Laryngology & Otology* (2006), 120, 822–826

Khullar, S.; Sood, A.; Sood, S. Auditory Brainstem Responses and EMFs Generated by Mobile Phones. *Indian J. Otolaryngol. Head Neck Surg.* (December 2013) 65(Suppl 3): S645–S649

Koeman, T.; van den Brandt, P.A.; Slottje, P.; Schouten, L.J.; Goldbohm, R.A.; Kromhout, H.; Vermeulen, R. Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. *Cancer Causes Control*. 2014 Feb; 25(2): 203-14

Lai, H.; Singh, N. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, n. 16 (1995), 207–210

Lonn, S.; Ahlbom, A.; Hall, P.; Feychting, M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 2004; 15(6): 653–9

Meriç, F.; Dasdag, S.; Vergili, K. Do Radiofrequency Radiation Affect the Auditory System of People with Occupational Exposure? *Environmental Health and Preventive Medicine* 3, 55-58, April, 1998

Moon, S.; Gyung Kim, B.; Kim, J.; Dae Lee, J.; Lee, W. Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. *Tumour Biol.* 2014 Jan; 35(1): 581–587

Morgan, L.L.; Miller, A.B.; Sasco, A.; Davis, D.L. Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A) (review). *Int J Oncol.* 2015 May;46(5):1865-71

Okday, M.F.; Dasdag, S. Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. *Electromagn. Biol. Med.* 2006; 25(1): 13-21

Ozturan, O.; Erdem, T.; Miman, M.C.; Kalcioglu, M.T.; Oncel, S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol.* 2002; 122: 289–293

Parazzini, M.; Brazzali, A.R.; Paglialonga, A. et al. Effects of GSM cellular phones on human hearing: the European Project “Guard”. *Radiat. Res.* 2007 168: 608-13.

Röösli, M.; Lörtscher, M.; Egger, M.; Pfluger, D.; Schreier, N.; Lörtscher, E.; Locher, P.; Spoerri, A.; Minder, C. Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup. Environ. Med.* 2007 Aug; 64(8): 553-9

Rosin, M.P. The use of the micronucleus test on exfoliated cells to identify anticlastogenic action in humans: a biological marker for the efficacy of chemopreventive agents, *Mutat. Res.* 267 (1992) 265–276

Sanders, A.; Joines, W. The differential effect of 200, 591, and 2450 MHz radiation on rat brain energy metabolism. *Bioelectromagnetics*, n. 5, 1984b, 419–433

Sanders, A.P., and Joines, W.T. The effects of hyperthermia and hyperthermya plus microwaves on rat brain energy metabolism, *Bioelectromagnetics*. 1984a, 5: 63-70

Sarto, F.; Tomanin, R.; Giacomelli, L.; Iannini, G.; Cupiraggi, A.R. The micronucleus assay in human exfoliated cells of the nose and mouth: application to occupational exposures to chromic acid and ethylene oxide. *Mutat. Res.* 1990; 244: 345-51.

Sorahan, T.; Nichols, L.; van Tongeren, M.; Harrington, J.M. Occupational exposure to magnetic fields relative to mortality from brain tumours: updated and revised findings from a

study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occup. Environ. Med.* 2001 Oct; 58(10): 626-30

Szanto, C. Hearing Loss in Persons Occupationally Exposed to Radio Frequencies (RF) and Microwave (MW) Nonionizing Radiations. *Epidemiology*: September 2007 - Volume 18 - Issue 5 - p S14

Uloziene, I.; Uloza V.; Gradauskiene, E.; Saferis, V. Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Public Health*. 2005; 5: 39

Zhao, J.; Sun, J.; Jia, Z.; Diao, M.; Liu, Y.; Tian, F. Analysis on outer hair cells hazards from occupational exposure to low frequency electric and magnetic fields and magnetic fields and its related factors. *Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 2013 Nov; 27(22): 1247-51

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral estudar a influência da exposição à radiação eletromagnética não ionizante e verificar seus efeitos biológicos na saúde durante a realização de atividades laborais.

Desta forma, a revisão da literatura realizada no artigo 1 evidenciou as características da exposição das radiações não ionizantes e os eventuais efeitos e/ou danos à saúde dos seres vivos e o artigo 2 apresentou um estudo de campo com os trabalhadores da Polícia Rodoviária Federal (PRF) no qual foi realizada a mensuração dos campos eletromagnéticos a que estão expostos e a avaliação dos danos biológicos eventualmente causados pela exposição à radiação não ionizante por meio de exames clínicos e análises laboratoriais reconhecidos pela literatura científica vigente.

Constatou-se que os efeitos térmicos da radiação não ionizante já são bem compreendidos e demonstrados na literatura científica, o que dificulta um maior entendimento deste tipo de radiação são seus efeitos não térmicos. Devido aos diversos fatores que interagem nos organismos vivos como regulação homeostática, regulação térmica, regulação epigenética, diferentes taxas de absorção de radiação de cada tipo tecidual e a interação dos organismos com medicamentos, a reprodutibilidade destes efeitos se torna difícil, fato este que faz a IARC (International Agency for Research on Cancer) adotar uma posição cautelosa e classificar as ondas eletromagnéticas não ionizantes como possivelmente carcinogênicas (categoria 2B). No que compete à área técnica ambiente, trabalho e câncer da coordenação de prevenção e vigilância do câncer do Instituto Nacional do Câncer (INCA), é recomendada a aplicação do princípio da precaução, no qual medidas individuais de proteção devem ser disseminadas e orientadas com o intuito de minimizar a exposição à radiação não ionizante do tipo radiofrequência. Além disso, a adoção de medidas de proteção coletivas, baseadas em políticas públicas e na implementação de estratégias de vigilância para monitorar a exposição e seus efeitos (MS/INCA, 2018).

Embora neste estudo o número de pessoas investigadas tenha sido pequeno e não tenha sido possível esclarecer as interações entre os campos eletromagnéticos e sua exposição ocupacional, ficou caracterizado que diversos fatores podem interferir para a investigação da relação da radiação não ionizante e as alterações biofisiológicas a ela relacionada.

Outros estudos, com um número maior de sujeitos, devem ser realizados para contemplar alguns fatores ou variáveis que não foram abordados nesta análise. Por exemplo, a exposição a CEM acima do preconizado na literatura por um período longo de tempo pode levar a alterações biológicas significativas? Deve-se pensar ainda em ampliar os estudos para áreas de trabalho não rotineiramente estudadas, mas que apresentam sabidamente exposição a este tipo de radiação como operadores de centro de comando e técnicos administrativos que atuam em ambiente de escritório. Testes disponibilizados somente fora do Brasil devido às limitações financeiras e estruturais do setor técnico científico do país poderiam ampliar o conhecimento nesta área. De modo que também, estudos longitudinais com investigação de alterações genômicas podem prestar maiores esclarecimentos no futuro das pesquisas relacionadas às alterações não térmicas da radiação não ionizante. E, sem sombra de dúvidas, por este ser um tema que abrange diversas áreas da ciência, a proximidade de especialidades como patologia, fonoaudiologia, engenharia elétrica, engenharia de produção e medicina só tende a acrescentar mais conhecimentos a este tema.

## REFERÊNCIAS

- Bawin, S.M.; Kaczmarek, L.K.; Adey, W.R. Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1975, 247, 74–81
- Blackman, C.F.; Benane, S.G.; Elder, J.A.; House, D.E.; Lampe, J.A.; Faulk, J.M. Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effect of sample number and modulation frequency on the power-density window. *Bioelectromagnetics* 1980a, 1, 35–43
- Blackman, C.F.; Benane, S.G.; Joines, W.T.; Hollis, M.A.; House, D.E. Calcium ion efflux from brain tissue: power density versus internal field-intensity dependencies at 50-MHz RF radiation. *Bioelectromagnetics* 1980b, 1, 277–283
- Brouwer, M.; Koeman, T.; van den Brandt, P.A.; Kromhout, H.; Schouten, L.J.; Peters, S.; Huss, A.; Vermeulen, R. Occupational exposures and Parkinson's disease mortality in a prospective Dutch cohort. *Occup. Environ. Med.* 2015 Jun; 72(6): 448-55



Corbacio, M.; Brown, S.; Dubois, S.; Goulet, D.; Prato, F.S.; Thomas, A.W.; Legros, A. Human cognitive performance in a 3 mT power-line frequency magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 2011 Dec; 32(8): 620-33

Coureau, G.; Bouvier, G.; Lebailly, P. et al: Mobile phone use and brain tumours in the CERENAT case-control study. *Occup. Environ. Med.* 71: 514-522, 2014

Davanipour, Z.; Tseng, C.C.; Lee, P.J.; Sobel, E. A case-control study of occupational magnetic field exposure and Alzheimer's disease: results from the California Alzheimer's Disease Diagnosis and Treatment Centers. *BMC Neurol.* 2007 Jun 9; 7:13

David, O.C. Human disease resulting from exposure to electromagnetic fields. *Rev. Environ. Health* 2013; 28(4): 159–172

Gil, A.C. Como elaborar projeto de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002

Hardell, L.; Carlberg, M.; Söderqvist, F.; Hansson, K. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997–2003 and 2007–2009 and use of mobile and cordless phones. *Int J Oncol.* 2013 Oct; 43(4): 1036–1044

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 2011. Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields. Lyon, France

INCA/CONPREV/INCA/SAS/MS. Nota Técnica nº 10/2018

Lai, H.; Singh, N. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, n. 16 (1995), 207–210

Lonn, S.; Ahlbom, A.; Hall, P.; Feychting, M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 2004; 15(6): 653–9

Moreira, W. Revisão de Literatura e Desenvolvimento Científico: conceitos e estratégias para confecção. *Janus, Lorena*, v. 1, n. 1, p.19-31, 2004

Sanders, A.; Joines, W. The differential effect of 200, 591, and 2450 MHz radiation on rat brain energy metabolism. *Bioelectromagnetics*, n. 5 (1984b), 419–433

Sanders, A.P., and Joines, W.T. The effects of hyperthermia and hyperthermya plus microwaves on rat brain energy metabolismo, *Bioelectromagnetics* 1984a, 5: 63-70

Savitz, D.A.; Ahlbom A. Epidemiologic evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure, pp. 233-262. In *Biological effects of electric and magnetic fields* 1994, v.2. Academic Press, New York.

Silveira, D. T.; Córdova, F. P. A pesquisa científica. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 31-42, 2009

Szanto, C. Hearing Loss in Persons Occupationally Exposed to Radio Frequencies (RF) and Microwave (MW) Nonionizing Radiations. *Epidemiology*: September 2007 - Volume 18 - Issue 5 - p S14

WHO Visual Display Terminals and Worker's Health. WHO 1987; 27-32

## APÊNDICE A

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa de mestrado intitulado **RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS NÃO IONIZANTES E O RISCO OCUPACIONAL**, conduzido por Leonardo Radunz Vieira. Este estudo tem por objetivo tentar identificar alterações biológicas relacionadas à exposição a campos eletromagnéticos não ionizantes no local de trabalho.

Você foi selecionado(a) por realizar atividades laborativas em local com exposição a radiações eletromagnéticas não ionizantes. Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa, desistência ou retirada de consentimento não acarretará em nenhum prejuízo.

Não há risco na participação neste projeto de pesquisa haja visto que não serão realizados métodos invasivos de coleta de dados e somente será investigada a exposição já existente no local de trabalho. Desde já fica claro que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, pela participação nesta pesquisa.

Sua participação nesta pesquisa consistirá na realização de audiometria para investigação de possível perda auditiva, coleta de células de mucosa oral com swab ou escova citológica para investigação de alterações no núcleo das células e realização de questionário referente a hábitos de vida.

Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo de sua participação.

O pesquisador responsável se comprometeu a tornar públicos nos meios acadêmicos e científicos os resultados obtidos de forma consolidada sem qualquer identificação de indivíduos participantes.

Caso você concorde em participar desta pesquisa, assine ao final deste documento, que possui duas vias, sendo uma delas sua, e a outra, do pesquisador responsável / coordenador da pesquisa.

Seguem os telefones e o endereço institucional do pesquisador responsável, onde você poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação nele, agora ou a qualquer momento.

Contatos do pesquisador responsável: Leonardo Radunz Vieira, mestrando em ergonomia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, email: [leonardorvieira@yahoo.com.br](mailto:leonardorvieira@yahoo.com.br), telefone para contato: (51) 981180567.

Caso você tenha dificuldade em entrar em contato com o pesquisador responsável prof. Fernando Gonçalves Amaral, comunique o fato ao Núcleo de Capacitação em Ergonomia, Saúde e Segurança Ocupacional da Engenharia de Produção de Universidade Federal do Rio Grande do Sul situada na Av. Osvaldo Aranha, 99 – 5º andar – Bairro Bom Fim – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – CEP: 90035-190 – Fone: (51) 33084292.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa, e que concordo em participar.

Porto Alegre, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Assinatura do(a) participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B

## QUESTIONÁRIO BIOPSIKOSSOCIAL E LABORAL

- 1) Nome?
- 2) Idade?
- 3) Sexo?
- 4) Peso?
- 5) Altura?
- 6) Cor de pele?
- 7) Destro ou canhoto?
- 8) Dieta prioritária de carne vermelha / branca?
- 9) Fuma?
- 10) Já fumou?
- 11) Cigarro / palheiro?
- 12) Carga tabágica (anos/maço)?
- 13) Há quanto tempo sem fumar?
- 14) Convive com fumante?
- 15) Bebe?
- 16) Já bebeu?
- 17) Mais fermentado / destilado?
- 18) Dose semanal?
- 19) Há quanto tempo sem beber?
- 20) Tem exposição a agrotóxico?
- 21) Já foi exposto agrotóxico?
- 22) Há quanto tempo sem exposição a agrotóxico?
- 23) Faz uso de antisséptico bucal?
- 24) Usou antisséptico bucal nas últimas 24h.?
- 25) Tem verruga oral?
- 26) Já teve verruga oral?
- 27) Tem lesões orais?
- 28) História familiar de neoplasia?

- 29) Quanto tempo na PRF?
- 30) Setor na PRF?
- 31) Tempo no setor?
- 32) Utiliza radio na lapela ou capacete?
- 33) Radio na lapela direita ou esquerda?
- 34) Jornada de trabalho?
- 35) Existem folgas?
- 36) Existem intervalos na jornada?
- 37) Período de férias?
- 38) Trabalha em ambiente ruidoso?
- 39) Já trabalhou em ambiente ruidoso?
- 40) Por quanto tempo exposto a ambiente ruidoso?
- 41) Faz uso de medicação continua?
- 42) Qual medicação?
- 43) Tem alguma comorbidade?
- 44) Perda auditiva na família?
- 45) Já usou arma de fogo?
- 46) Última vez que utilizou arma?
- 47) Quanto tempo usou arma de fogo?
- 48) Arma junto ao ouvido d ou e?
- 49) Trauma cranioencefálico?
- 50) Há quanto tempo?
- 51) Trauma acústico?
- 52) Há quanto tempo?
- 53) Tem zumbido?
- 54) Tem tontura?
- 55) Tem perda auditiva?
- 56) Há quanto tempo?